Campus de São Carlos

**MEDIDOR DE TEOR DE CLOROFILA EM PLANTAS BASEADO EM
ARQUITETURA MICROCONTROLADA**

Autor: Jadis de Santis Jr.

Orientador: Dr. Paulo Estevão Cruvinel

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrega no Serviço: 6.7.2000

Ass.:

Medidor do Teor de Clorofila em Plantas Baseado em Arquitetura Microcontrolada

Jadis de Santis Junior

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica

ORIENTADOR : Prof. Dr. Paulo Estevão Cruvinel

São Carlos
2000

Class.	TESE - EESC
Cutt.	5076
Tombo	0147/00

1088853

S236m

Santis Junior, Jadis de.

Medidor do teor de clorofila em plantas baseado em arquitetura microcontrolada /

Jadis de Santis Junior. - - São Carlos, 2000 .

108 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2000

Orientador: Prof. Dr. Paulo Estevão Cruvinel.

1. Microcontroladores. 2. Instrumentação inteligente. 3. Clorofila. 4. Instrumentação em agropecuária. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JADIS DE SANTIS JUNIOR**

Dissertação defendida e aprovada em 20-04-2000
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **PAULO ESTEVÃO CRUVINEL (Orientador)**
(EMBRAPA)

Prof. Doutor **RUY BARBOZA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Doutor **WASHINGTON LUIZ DE BARROS MELO**
(EMBRAPA)

Profa. Associada **VILMA ALVES DE OLIVEIRA**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho aos
meus pais, a Ana Luisa,
minha esposa, e aos meus
filhos Ana Carolina e
Matheus

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Estevão Cruvinel por sua amizade, por sua valiosa orientação neste trabalho e pelo incentivo

Ao Dr. Morethson Resende, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo pela parceria no desenvolvimento deste trabalho

À Profa. Dra. Durvalina Maria Mathias dos Santos e técnicos do Departamento de Biologia Aplicada À Agropecuária da FCAV / Unesp Jaboticabal pela valiosa colaboração nas medidas do teor de clorofila pelo método químico

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da USP

Aos colegas pesquisadores e técnicos do Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária da Embrapa

Aos colegas da Fundação Educacional de Barretos, em especial ao amigo Marcos Eduardo Nepomuceno pela valiosa colaboração na montagem do protótipo

À CAPES pelo apoio financeiro através de bolsa do PICDT Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnico, coordenado na FEB pela Prof. Elvira Meneghesso Gonçalves Parada.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo, sempre

À minha esposa e filhos pela compreensão durante minhas ausências.

A Deus.

Sumário

Capítulo 1

1.1	Introdução	2
1.2	Fotossíntese	3
1.2.1	A fonte primária de Energia	3
1.2.1.1	Espectro eletromagnético	3
1.2.2	Definição	4
1.3	Clorofila	5
1.4	O Aparelho Fotossintético	6
1.5	Métodos para medida do teor de clorofila em plantas	7
1.5.1	Importância da Medida do Teor de Clorofila nas Plantas	8
1.6	O Uso de Nitrogênio como Fertilizante na Cultura de Cereais	8
1.6.1	Métodos para se determinar a quantidade de N nas plantas	9

Capítulo 2

2.1	Introdução	12
2.2	Aspectos Gerais Sobre Agricultura de Precisão	13
2.3	Aspectos do Geoprocessamento com Imagens e Integração com Agricultura de Precisão	18
2.3.1	Relações Espaciais entre Fenômenos Geográficos	19
2.3.2	Descrição de SIG	19
2.3.3	Aplicações de Receptores GPS na Agricultura de Precisão	21
2.3.4	Sistema de Projeção UTM	22
2.4	Aspectos Agronômicos Relacionados com o Trabalho	22
2.4.1	Revisão sobre Reposição de Nutrientes	22

2.4.1.1	Amostragem de solo	23
2.4.1.2	Glebas a amostrar	23
2.4.1.3	Frequência e época de amostragem	24
2.4.1.4	Local e profundidade de amostragem	24
2.4.1.5	Apresentação dos Resultados de Análise de Solo	24
2.4.1.6	Interpretação de Resultados de Análise de Solo	25
2.4.2	Critérios para Calagem e Adubação	25
2.4.2.1	Calagem	25
2.4.2.2	Adubação Orgânica	26
2.4.2.3	Adubação com Nitrogênio Fósforo e Potássio	27

Capítulo 3

3.1	Introdução	29
3.2	Instrumentação inteligente	30
3.2.1	Considerações Básicas	30
3.2.2	Vantagens de se Implementar Inteligência em Instrumentação	32
3.2.3	Opções de Implementação de Inteligência	33
3.2.3.1	Microcontroladores	33
3.2.3.2	Computadores de Placa Única (SBC's)	34
3.2.3.3	Sistemas de Computador Compatíveis com PC	34
3.2.4	Facilidades de Desenvolvimento	35
3.3	O Microcontrolador 80535	36
3.3.1	Introdução	36
3.3.2	Hardware do 80535	36
3.3.2.1	CPU	36
3.3.2.2	Organização da Memória.	37
3.3.2.2.1	Memória de Programa	37
3.3.2.2.2	Memória de Dados	39
3.3.2.3	Portas de I/O	43
3.3.2.4	Temporizadores / Contadores	43
3.3.2.4.1	O Temporizador 0 e o Temporizador 1.	43

3.3.2.4.2	O Temporizador 2	44
3.3.2.5	O Temporizador <i>Watchdog</i>	46
3.3.2.6	A Porta Serial	47
3.3.2.6.1	Gerando Taxas de Transmissão	48
3.3.2.7	O Conversor Analógico Digital	48
3.3.2.8	Estrutura de Interrupções	49
3.3.2.8.1	Estrutura de Níveis de Prioridade	51
3.3.2.8.2	Como as Interrupções são Manipuladas	52
3.3.3	O Software do 80535	54
3.3.3.1	Modos de Endereçamento	54
3.3.3.1.1	Endereçamento Direto	54
3.3.3.1.2	Endereçamento Indireto	54
3.3.3.1.3	Instruções de Registrador	54
3.3.3.1.4	Instruções Específicas de Registrador	55
3.3.3.1.5	Constantes Imediatas	55
3.3.3.1.6	Endereçamento Indexado	55

Capítulo 4

4.1	Introdução	57
4.2	A Arquitetura projetada para o sistema de medida do teor de clorofila em plantas	58
4.2.1	Descrição do Módulo de aquisição de Dados	59
4.2.1.1	Dispositivos de Memória	59
4.2.1.2	O Latch de endereços	60
4.2.1.3	O Circuito de interface serial	60
4.2.1.4	O Display	62
4.2.1.5	O Teclado	62
4.2.2	Descrição do Módulo Sensor	63
4.2.2.1	Módulo emissor de luz	64
4.2.2.2	Módulo sensor de luz	66

4.3	Alimentação	68
4.4	O Funcionamento do sistema	69
4.4.1	Procedimentos de Operação	69
4.4.2	Tarefas do módulo de Aquisição	69
4.5	Rotinas do Sistema	70
4.5.1	Rotina de Inicialização do módulo de Aquisição	70
4.5.2	Rotina de Acionamento de Teclas	71
4.5.3	Rotina de calibração	71
4.5.4	Rotina de Leitura	72
4.5.5	Rotina de transferência de dados para o canal serial	72
4.6	Diagrama de Estado Resultante na Concepção Sistêmica do Medidor do Teor de Clorofila	72
4.7	Detalhamento de arquivo de dados armazenado no host IBM® PC compatível	73
4.8	Layout do Sistema	73
4.9	Características de Bancada	73
4.10	Conclusões	79
 Apêndice 1		 80
 Apêndice 2		 95
 Referências Bibliográficas		 101

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1	Espectro Eletromagnético	4
Figura 1.2	Estrutura Esquemática da Clorofila a e b	6
Figura 1.3	Regiões de Absorbância máxima para as clorofilas a e b	7
Figura 1.4	Representação de um corte de cloroplasto	8
Figura 1.5	Comparativo para duas variedades de milho híbrido das medidas do teor de clorofila e do teor de N nas plantas	10

Capítulo 2

Figura 2.1	Processo de Aplicação da Agricultura de Precisão	17
Figura 2.2	Arquitetura de Sistemas de Informações Cartográficas	20

Capítulo 3

Figura 3.1	Arquitetura Convencional	30
Figura 3.2	Arquitetura Incorporando Unidades Inteligentes	31
Figura 3.3	Diagrama de Blocos do Microcontrolador 80535	37
Figura 3.4	Estrutura de Memória do 80535	38
Figura 3.5	Execução de Memória de Programa Externa	39
Figura 3.6 (a)	Memória de Dados Interna	39
Figura 3.6(b)	Os 128 Bytes Mais Baixos da Memória RAM	39
Figura 3.7	Mapa de Memória dos Registradores de Função Especial	40
Figura 3.8	Diagrama de Blocos do Conversor A/D	49
Figura 3.9	Diagrama de Temporização de Resposta a Interrupção	53

Capítulo 4

Figura 4.1	Princípio de medida de teor de clorofila em folha pelo método da transmissão. A fonte de luz possui comprimento de onda próximo a um pico de absorção máximo da clorofila	58
Figura 4.2	Arquitetura proposta para o sistema de medida do teor de clorofila em plantas	59
Figura 4.3	Diagrama de Blocos do Módulo de Aquisição de Dados	60
Figura 4.4	Diagrama Esquemático do Módulo de Aquisição	61
Figura 4.5	Esquema de ligação da Interface Serial Padrão EIA RS 232C	62
Figura 4.6	Diagrama Esquemático para ligação do Display de Cristal Líquido	62
Figura 4.7	Diagrama esquemático de Ligação das Chaves de Seleção	63
Figura 4.8	Cabeçote de Leitura	63
Figura 4.9	Desenho da disposição dos diodos emissores de luz no módulo emissor	64
Figura 4.10	Diagrama Esquemático do Módulo Emissor	65
Figura 4.11	Desenho do posicionamento dos sensores no Módulo Sensor	66
Figura 4.12	Diagrama Esquemático do Módulo Sensor	67
Figura 4.13	Diagrama Esquemático do circuito Regulador de Tensão	68
Figura 4.14	Diagrama Esquemático do circuito carregador de Bateria	68
Figura 4.15	Diagrama de Estados do medidor do teor de clorofila	74
Figura 4.16	Foto detalhando o Painel do Equipamento	75
Figura 4.17	Foto detalhando o circuito do módulo de aquisição e a bateria	76
Figura 4.18	Foto detalhando o cabeçote de Leitura onde estão instalados os sensores	77
Figura 4.19	Curva de calibração do medidor do teor de clorofila em plantas baseado em arquitetura microcontrolada x medida química	78

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1	Registradores de Função Especial	41-42
Tabela 3.2	Pares de Fontes de Interrupção	50
Tabela 3.3	Relação entre Bits de IP0 e IP1 e Pares de Fonte de Interrupção	51
Tabela 3.4	Relação entre Valores de Bits de IP0 e IP1 e Níveis de Prioridade	52
Tabela 3.5	Prioridade para Pedidos de Interrupção Simultâneos de Mesmo Nível de Prioridade	52
Tabela 3.6	Endereço de Vetor das Fontes de Interrupção	53

RESUMO

Este trabalho descreve um instrumento microprocessado para a avaliação de clorofila em plantas com a possibilidade da armazenagem de dados até 64kbytes de 32 posições com tamanho de pixel de 1 a 16 cm². O instrumento encontra várias aplicações na agricultura, principalmente onde o monitoramento é requerido. As principais aplicações estão em operações de fertilização e irrigação, onde o manejo de eventos são controlados pelas condições críticas como a disponibilidade de nitrogênio no solo. Resultados mostram que a operação individual ou em grupo dos sensores garantem uma adequada acurácia e resolução para aplicações agrícolas. O instrumento possibilita a fazendeiros, pesquisadores ou consultores a oportunidade do manejo localizado para sistemas de tomada de decisão. O instrumento é baseado em uma arquitetura dedicada baseada no microcontrolador 80535 e sua utilização proporciona redução de custos de processos agrícolas e redução de contaminação ambiental.

ABSTRACT

This work describes a microprocessed instrument for evaluation of chlorophyll in plants, and recording of data up to 64kbytes at thirty-two positions with pixel size from 2 to 1.420 mm². The instrument meets different applications in the agricultural science area, where monitoring is required. Also would apply to operations of fertilization and irrigation, where the management of events can be triggered by critical conditions such as soil nitrogen contents. Results have shown that characterization of the instrument and its individual sensors guaranteeing an adequate accuracy and resolution for agricultural application. It provides the farmer or consultant the opportunity to establish localized management rules for decision support systems. The instrument is based on complementary metal oxide semiconductor devices as well as the 80535 microcontroller. It may be operated in automatic or non-automatic mode.

Keywords : Microcontrollers, Intelligent Instrumentation, Chlorophyll, Agricultural Instrumentation

Capítulo 1

1.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados tópicos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, como um estudo sobre as clorofilas , métodos de medida do teor de clorofilas em plantas e a relação entre a quantidade de clorofila e a quantidade de Nitrogênio presente em folhas de plantas.

1.2 Fotossíntese

1.2.1 A fonte primária de energia

A vida na Terra depende da energia vinda do sol. A fotossíntese é um dos processos naturais que podem aproveitar esta energia. Grande parte das reservas de energia do planeta são resultantes da atividade fotossintética, seja ela recente (biomassa) ou remota (combustíveis fósseis).

A fotossíntese é realizada por algas, vegetais superiores e algumas bactérias. Os animais não podem utilizar diretamente a energia solar. Eles obtêm energia alimentando-se de plantas ou de outros animais que se alimentaram de plantas (Taiz & Zeiger, 1991).

1.2.1.1 Espectro eletromagnético

A luz é uma forma de radiação eletromagnética e apresenta propriedades de onda e de partícula. Uma onda pode ser caracterizada por seu comprimento de onda, λ , e pela frequência ν . Estas grandezas estão relacionadas com a velocidade de propagação da onda, c , segundo a equação:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (1.1)$$

sendo que c é a velocidade da luz $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

A luz também é uma partícula, chamada fóton. Cada fóton contém uma quantidade de energia que é chamada de um quantum. A energia contida na luz não é contínua, mas fracionada em pacotes discretos denominados quanta.

A energia E de um fóton depende da frequência da onda de acordo com a lei de Planck, conforme a equação:

$$E = h \cdot \nu \quad (1.2)$$

sendo que h é a Constante de Planck, $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

Como a frequência, ν , é inversamente proporcional ao comprimento de onda, λ , temos que os fótons de menor comprimento de onda são mais energéticos que os de maior comprimento de onda.

O sol irradia energia representando todo o espectro eletromagnético, conforme mostra a figura 1.1, destacando-se o espectro de luz visível.

1.2.2 Definição

Fotossíntese significa literalmente síntese pela luz e é o processo através do qual as plantas sintetizam compostos orgânicos a partir de matéria prima inorgânica utilizando energia da luz solar.

Para que a fotossíntese ocorra, os pigmentos presentes nos tecidos vegetais devem absorver a energia de um fóton de dado comprimento de onda λ , e então, utilizar esta energia para iniciar uma cadeia de eventos químicos.

Na fotossíntese o processo químico principal consiste na conversão de dióxido de carbono e água em carboidratos e oxigênio, como mostra a equação (1.3).

Figura 1.1 Espectro eletromagnético - comprimento de onda λ em nm .

Os carboidratos formados possuem mais energia do que as matérias primas CO_2 e H_2O . Devido à energia solar, os compostos pobres em energia são convertidos em compostos ricos em energia (Hill & Rao, 1980).

1.3 Clorofila

Clorofila é o pigmento verde das plantas, o qual foi descrito pela primeira vez em 1818 por Pelletier e Caventou, a quem se deve o nome de clorofila (Hill & Rao, 1980).

As clorofilas constituem uma classe de pigmentos, os quais são largamente distribuídos na natureza, em folhas e outras partes verdes de quase todas as plantas. São essenciais para a fotossíntese, processo pelo qual a energia da luz é utilizada pelas plantas na síntese de carboidratos. Tais pigmentos absorvem fótons por meio de um processo de excitação análogo ao efeito fotoelétrico.

A clorofila apresenta estrutura complexa em anel com ligações simples e duplas alternadas (estrutura tetrapirrólica), chamada porfirina no centro da qual encontra-se um átomo de Magnésio (Raven & Johnson, 1996). A figura 1.2 ilustra especificamente esse pigmento.

Pequenos grupos ligados ao lado externo da porfirina alteram as propriedades de absorção de luz dessa molécula dando origem aos dois tipos de clorofila encontrados em plantas superiores, clorofilas *a* e *b*, cujas estruturas diferem entre si pela substituição de um grupo $-\text{CHO}$ (aldeído) na clorofila *b*, por um grupo $-\text{CH}_3$ (metil) na clorofila *a*, conforme ilustrado na figura 1.2. As clorofilas *a* e *b* são encontradas nas plantas na proporção de 1 : 3.

As regiões de absorbância das clorofilas têm valores complementares, o que permite às plantas a utilização da energia solar através de uma larga região do espectro visível. A absorção relativa de luz medida *in vitro*, em pigmento extraído por solvente, é um pouco diferente da absorção *in vivo* e mostra dois picos de absorbância para as clorofilas a e b. Um dos picos ocorre no comprimento de onda do violeta-azul e o outro no comprimento de onda do vermelho. Por outro lado, a clorofila reflete luz no comprimento de onda do verde ($500\text{nm} \leq \lambda \leq 600\text{nm}$). A figura 1.3 ilustra os espectros para as clorofilas a e b.

Figura 1. 2 - Estrutura esquemática da clorofila a e b

1.4 O aparelho fotossintético

O aparelho fotossintético é aquela parte da célula da folha que contém os elementos necessários para a absorção de luz e canalização da energia das moléculas de pigmento excitadas para uma série de reações químicas e enzimáticas (Raven & Johnson, 1996).

Em plantas superiores a clorofila está contida em um plastídio celular chamado cloroplasto. O cloroplasto é um corpo discóide que apresenta uma membrana externa a qual o separa do restante do citoplasma. Internamente o cloroplasto é composto de um sistema de lamelas, denominadas tilacóides, dispostos em pilhas chamadas grana, interligadas por um

sistema de membranas chamado lamelas do estroma. Os grana são envolvidos por uma matriz incolor denominada estroma, conforme ilustra a figura 1.4.

1.5 Métodos para medida do teor de clorofila em plantas

No método de medida do teor de clorofila por absorbância, uma amostra do tecido vegetal é retirada e diluída empregando-se solventes, acetona e éter. A quantidade de clorofila presente é determinada empregando-se um espectrofotômetro, a unidade usual neste método é mg/g (Raven & Johnson, 1996).

Figura 1. 3 - Regiões de Absorbância máxima para as clorofilas a e b

Outra possibilidade de medida do teor de clorofila é pelo uso da transmissão de luz, sob um específico comprimento de onda, através da folha. Isto é obtido utilizando-se uma fonte de luz cujo comprimento de onda seja igual ou próximo a um dos picos de absorção máxima de luz pela clorofila para iluminar uma folha. Desta forma, colocando-se um sensor de luz na superfície oposta da folha, a intensidade de luz que incidirá no sensor será

inversamente proporcional à quantidade de clorofila presente na folha, conforme ilustra a figura 1.5 (Peterson et al,1993; Schepers et al,1992)

Figura 1. 4 Representação de um corte de cloroplasto

1.5.1 Importância da Medida do Teor de Clorofila nas Plantas

A análise da quantidade de nutrientes de uma planta pode ser feita através da análise das folhas (Tyner & Web,1946), sendo fundamental a medida do teor de clorofila, pois através dela, é possível determinar a necessidade ou não de correções na adubação do solo evitando assim custos desnecessários e minimizando a contaminação do meio ambiente.

Entretanto, as medidas de nutrientes em plantas com o uso de métodos clássicos de análise das folhas é caro e demorado, devido à necessidade de análise das amostras em laboratório. Assim sendo, quando os resultados são apresentados muitas vezes não há mais tempo para se efetuarem as correções necessárias e a produção fica comprometida.

1.6 O uso do Nitrogênio como fertilizante em cultura de cereais

Em culturas de cereais, principalmente de milho, o Nitrogênio (N, Z = 7) é largamente empregado como fertilizante. Seu manejo inadequado causa prejuízos ambientais e econômicos. Para não correr o risco de ter sua produção comprometida o agricultor na

maioria das vezes aplica N em quantidades acima das recomendadas. Entretanto, todo o N não absorvido pelas plantas é lixiviado e contamina o lençol freático.

Estudos têm sido desenvolvidos para se melhorar o manuseio de N (Blackmer et al,1994) com o objetivo de se aplicar apenas o N necessário para as plantas e de maneira adequada na área cultivada. Procura-se, desta forma, sincronizar a aplicação do fertilizante com as avaliações das necessidades da cultura no decorrer do tempo.

Determinar a variabilidade espacial do N em um campo não é tarefa fácil pois as concentrações de Nitrato podem variar consideravelmente em distâncias relativamente curtas, o que torna a análise de solo um método caro e difícil, uma vez que a quantidade de amostras necessárias para a avaliação passa a ser muito grande.

Uma alternativa que se apresenta é determinar a quantidade de N nas plantas através da análise das folhas. Estudos apresentados na literatura mostram que a quantidade de N em plantas está relacionado diretamente com a quantidade de clorofila presente nas folhas (Al-Abbas et al ,1974) ; (Maas & Dunlap,1989) (Thomas & Oerther ,1972) assim pode-se determinar a quantidade de N em plantas através da medida da quantidade de clorofila nas folhas.

1.6.1 -Métodos para se determinar a quantidade de N nas plantas

No método Clássico, é retirada uma amostra das folhas e faz-se sua análise em laboratório. As desvantagens do método são o custo e a demora para se obterem os resultados.

Adicionalmente ao método clássico pode-se determinar deficiências de N em culturas através da medida de radiações de ondas curtas refletidas nas copas da plantação, ou pode-se utilizar espectrorradiômetros portáteis ou ainda células fotométricas (Blackmer et al,1994).O método de medida por reflexão de luz apresenta como principal vantagem o fato de se poder avaliar uma grande quantidade de plantas de uma só vez. A desvantagem do método é que as medidas são influenciadas por fatores adicionais como diferenças na biomassa total das plantas e a arquitetura das copas (Jackson & Pinter,1986).Fotografias aéreas têm sido utilizadas também para se avaliar a quantidade de N em culturas (Blackmer et al, 1993) sendo que são empregados filtros passa faixa centrados no comprimento de onda do verde, $\lambda = 540\text{nm}$, para a avaliação das imagens.

O princípio de medida do teor de clorofila por transmissão tem sido utilizado e mostrou-se econômico e de fácil utilização (Peterson et al,1993;Schepers et al ,1992) e

através dele pode-se estimar o teor de N das plantas, a figura 1.5 mostra um exemplo para duas culturas de diferentes variedades de milho híbrido. As medidas com um equipamento portátil e de baixo custo que não danifica as folhas e permite a leitura imediata e direta dos valores sem necessitar de análises de laboratório vem a ser útil para o agricultor.

Figura 1.5 Comparativo para duas variedades de milho híbrido das medidas do teor de clorofila e do teor de N nas folhas.

Pode-se calcular um Índice de Suficiência de N. Este índice apresenta uma razão entre a média dos valores medidos no campo e a média dos valores medidos em uma faixa de referência.

Praticamente pode-se obter o Índice de Suficiência adubando-se o campo com metade ou dois terços da quantidade de N indicada após uma prévia análise de solo. Como referência, deve-se adubar uma faixa de referência com a quantidade recomendada de N.

$$\text{ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA} = \frac{\text{Média dos valores de Campo}}{\text{Média dos valores da faixa de referência}} \times 100 \% \quad (1.4)$$

Para valores do índice de suficiência menores que 95% recomenda-se corrigir a quantidade de N e realizar novas medições.

Capítulo 2

2.1 Introdução

Neste segundo capítulo serão abordados aspectos teóricos de temas relacionados com Agricultura de Precisão e Aspectos Agronômicos.

Dentre eles, será discutida a aplicação de técnicas de processamento de sinais, processamento de imagens e geoprocessamento na agricultura, e finalizando a reposição de nutrientes no solo.

2.2 Aspectos Gerais Sobre Agricultura de Precisão

O processamento de imagens sinais pode ser aplicado em diversos campos tais como: medicina, cartografia, indústria, manufatura, gráfica, cosméticos e estética pessoal, e diversos campos científicos e de pesquisas incluindo astronomia, análise de minerais, mecânica de fluidos, análise radioativa, física de partículas e modelagem oceânica (Niblack, 1986). Adicionalmente o processamento de imagens tem encontrado grande aplicação na agricultura (Cruvinel, 1992; Cruvinel et al., 1996).

A agricultura intensiva depende, de forma crescente e irreversível, da utilização de insumos e tecnologias modernas e tem se beneficiado cada vez mais com os avanços tecnológicos, destacando-se o uso do processamento de imagens e sinais na agricultura. Diversos trabalhos utilizando o uso do processamento de imagens têm contribuído para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade na agricultura. Em Hwang et al. (1997) foi mostrado o processamento híbrido de imagens para extração robusta do tecido magro em cortes de carne bovina. Mais exemplos podem ser citados, tais como: o rastreamento da estrutura de ruas em colheitas (Marchant, 1996) e o estudo do comportamento animal através da análise de movimentos do rasto (Tillet et al., 1997).

Contudo, através dos avanços tecnológicos na agropecuária, especialistas têm notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito a medições. A variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter uma melhor aplicação e aproveitamento dos recursos agricultáveis, podendo reduzir o número de variáveis de entrada e diminuir assim, sobretudo, os custos. O gerenciamento, em função da variabilidade, é o que convencionou-se chamar de “agricultura de precisão” (Plucknet & Winkelmann, 1995). O objetivo da agricultura de precisão é o de correlacionar casos e efeitos a partir de séries históricas dos dados e, também, de sua distribuição espacial, sempre procurando analisar a variabilidade.

Desde o início do século pesquisadores agrícolas têm-se preocupado com a variabilidade podendo serem citados trabalhos, como: o estudo da disposição de parcelas no campo em experimentos de rendimento de variedades de milho, numa tentativa de eliminar o efeito de variações no solo (Smith, 1910), o experimento com 224 parcelas nas quais mediuse o rendimento de grãos, analisando o efeito do nitrogênio no rendimento do trigo (Montgomery, 1913), estudo de erros em amostragem e diferenças em solos de mesmo grupo (Robinson & Lloyd, 1915), (Pendleton, 1919) e o estudo da variabilidade espacial de nitrificação no solo (Waynick, 1918), sempre preocupados em caracterizar e conhecer a variabilidade. Esses estudos foram abandonados para darem lugar à adoção de amostragem ao acaso desprezando o uso de coordenadas geográficas e temporais e fazendo uso da

estatística clássica, na qual considera-se a independência entre as amostras. O termo “Agricultura de Precisão” é recente, tendo sido expandidas as pesquisas na década de oitenta. Vale reproduzir o conceito colocado por Nielsen et al. (1996), ou seja, “Até o presente, a agricultura de precisão não pode ser definida porque estamos todos procurando por seus ingredientes - uma combinação adequada de instrumentos, medidas e métodos para gerenciar quantitativamente as áreas produtivas”.

O conceito de variabilidade pode ser tratado de várias maneiras. Segundo Torre-Neto et al. (1997) uma possível classificação pode ser dada por: a) Controle homogêneo, b) Controle automático, c) Controle em tempo posterior, d) Controle espacialmente variável baseado em parâmetros múltiplos; e) Controle espacialmente variável baseado em parâmetros históricos.

Controle homogêneo

O campo é tratado como homogêneo e a variabilidade é simplesmente ignorada. Trata-se do método tradicional dos sistemas produtivos. O controle é baseado na média de amostragens feitas no campo. A aplicação de insumos é uma constante baseada nessa média e independe da maior ou menor necessidade de cada localização. A grande vantagem desse método está na simplicidade de implementação. Mesmo no controle homogêneo há um ponto ótimo de operação a ser determinado.

Controle automático

O controle automático já considera variações encontradas no campo. A aplicação de insumos depende da maior ou menor necessidade de cada localização. Esse método requer um sensor e um atuador para medir e controlar continuamente a aplicação do insumo. A resposta ideal do sistema é aquela em que o atuador responde imediatamente à quantidade medida. Entretanto, há um tempo de resposta que introduz erros no controle. No projeto do sensor, atuador, enfim, do sistema como um todo, deve ser considerada a minimização desse erro.

Controle em tempo posterior

Outra maneira de considerar as variações de parâmetros no campo é a separação temporal de sensoriamento e da atuação. Por exemplo, a aplicação de fertilizantes sendo baseada no mapeamento espacial da produtividade anterior. Esse método permite a desassociação total do sensoriamento e atuação, sendo realizados em tempos diferentes e por máquinas diferentes. No caso da aplicação de fertilizantes, a colheitadeira faz o mapeamento

da produtividade e os dados só são utilizados posteriormente pelo aplicador. Uma das vantagens do método é a possibilidade do processamento dos dados para melhorar a precisão e remover efeitos indesejáveis do processo de medição. As metodologias e equipamentos usados para se determinar a localização precisa dos implementos são o “Global Positioning Sattelites, GPS” e para o armazenamento e processamento os Sistemas de Informações Geográficas, SIG.

Controle variável baseado em parâmetros múltiplos

A separação temporal baseada em um único parâmetro pode não ser interessante devido a outras variações como as climáticas e o ciclo do nitrogênio, entre outras. Com relação ao controle em tempo posterior o principal investimento adicional para considerar mais de um parâmetro está na sofisticação da função de controle, pois já existem os custos da localização dos implementos e do armazenamento e processamento de dados. Assim, o mapa de aplicação de fertilizantes pode considerar não somente o mapa da produtividade anterior, mas também, da topografia, de resultados de análise do solo, de registros da utilização da terra, de sensoriamento remoto, das medidas de matéria orgânica, de medidas de nitrogênio, entre outros. A dificuldade óbvia é determinar como todos esses dados devem ser funcionalmente combinados. Além de que o custo das análises de todos esses parâmetros pode ser muito elevado.

Controle espacialmente variável baseado em parâmetros históricos

O controle de uma operação agrícola atual pode depender de operações anteriores. Por exemplo, a aplicação de fertilizantes pode ser reduzida em função de uma super dosagem anterior. No caso de um controle espacialmente variável pode-se considerar não somente as medidas atuais dos sensores, mas também os mapas anteriores das medidas e das saídas dos atuadores. Esse método, teoricamente, permite que efeitos de persistência química, do ciclo do nitrogênio, do clima, do acúmulo de nutrientes e outros processos históricos possam ser considerados para o controle. O grande problema é a manipulação da enorme quantidade de dados e das relações entre eles.

Da passagem do controle homogêneo para o controle usando a variabilidade existem diversos fatores sócio-econômicos a serem considerados, tal como, a elevação dos custos. Essa preocupação, da elevação dos custos, no entanto, já pode ser resolvida pelos avanços da instrumentação eletrônica e da informática, sendo acessível e até mesmo começando a ser usada nos países de terceiro mundo.

Para por em prática o conceito de gerenciamento agrícola segundo uma variabilidade, deve-se considerar o processo a ser desenvolvido através de três fases básicas:

coleta de dados, interpretação e aplicação dos resultados. Este processo é mostrada na figura 2.1.

Coleta de Dados

Os dados de entrada podem ser obtidos basicamente através de três formas: processos manuais que envolvem análise laboratorial, sensores durante as operações de campo e sensoriamento remoto.

O processo manual é aquele que consiste na coleta de amostras no campo e subsequente análise laboratorial, como por exemplo, a análise de solos. Com a agricultura de precisão busca-se, cada vez mais, diminuir os esforços e o custo da análise e classificação de solos. A coleta de dados através de sensores coletam dados automaticamente através de sensores estáticos instalados no campo, sensores dinâmicos instalados nos implementos agrícolas e também dados obtidos por sensoriamento remoto, incluindo dados obtidos por satélites, aviões, balões ou ainda veículos de controle remoto.

Interpretação

Os dados de entrada, obtidos através da coleta de dados, devem ser interpretados através do processamento para gerar os mapas de controle para a aplicação dos resultados, como por exemplo, a taxa de aplicação de fertilizantes. Dependendo do número de variáveis geradas pela coleta de dados o processamento pode exigir grande capacidade computacional.

De preferência o software deve ter uma boa interface com o usuário a fim de facilitar o gerenciamento do controle espacialmente distribuído. Os dados adquiridos formam várias camadas de mapas que devem ser sobrepostas e combinadas para as tomadas de decisão.

Além de sofisticadas ferramentas o treinamento e a experiência são fundamentais, já que a tomada de decisão por máquina ainda não é totalmente confiável. experiência são fundamentais, já que a tomada de decisão por máquina ainda não é totalmente confiável.

Aplicação dos Resultados

Uma vez gerados, os mapas de controle devem ser transferidos para os atuadores que fazem parte da aplicação dos resultados. Se o controle for feito em tempo separado, pode-se apenas transportar o meio de armazenamento para o implemento. Caso o controle seja em tempo real a transferência deve ser *on-line* e sem fio.

Entre as possíveis aplicações dos resultados de um sistema integrado estão a aplicação de fertilizantes, a aplicação de pesticidas, o plantio e o preparo do solo. Em cada uma dessas operações o implemento deve ser metricamente localizado e um controlador deve ajustar o

FIGURA2.1 - Processo de aplicação da agricultura de precisão.

ponto de operação conforme o mapa de controle tão rápido quanto possível. Tal procedimento será similar para várias operações. Geralmente trata-se do controle elétrico do sistema hidráulico ou de elementos mecânicos. O ponto de operação deve ser acompanhado através de uma realimentação para o controlador a fim de proporcionar maior segurança para o sistema e o operador.

Um sistema integrado deve incluir todos os elementos citados nas fases acima, porém, é praticamente impossível tê-los todos ao mesmo tempo. É necessário identificar os prioritários, sem abandonar os que não são.

Diversos trabalhos podem ser citados usando a agricultura de precisão, tais como: Variabilidade espacial de propriedades do solo em dois campos irrigados com pivô central (Han et al., 1996), o fator temporal: uma nova consideração em agricultura de precisão, métodos para caracterização e análise da variabilidade espacial e temporal para sistemas de pesquisa e gerenciamento integrado de fazendas (Hess & Hoskinson, 1996); estudo da variabilidade do Cr em campos agrícolas usando técnicas de indução de raios X por prótons (PIXE) e análise instrumental com ativação por nêutrons (Cruvinel et al., 1996) e estudo das variabilidades de Cálcio em campos agrícolas usando a técnica PIXE e o processamento de imagens (Cruvinel & Minatel, 1994).

A calagem e a adubação são hoje práticas essenciais para aumentar a produtividade das culturas. O elevado custo dos corretivos e fertilizantes exige, contudo, mesmo no método tradicional de adubação, seu emprego com o máximo de eficiência (Modenese & Natale, 1996). Segundo este critério busca-se facilitar e, ao mesmo tempo, minimizar os problemas de interpretação das análises químicas que induzem ao uso de fórmulas de fertilizantes inadequadas ou não balanceadas em termos de exigências nutricionais das plantas (Natale & Modenese, 1996). Pode-se associar a aplicação da agricultura de precisão ao uso adequado de aplicação de fertilizantes. É assim que surge o conceito “Local Resource Management” (LRM), o qual possibilita a produção de agricultura sustentável no sentido de balancear a aplicação de fertilizantes, reduzindo custos, e minimizando agro-recursos com atenção especial para efeitos ecológicos (Haneklauss et al., 1996).

2.3 Aspectos do Geoprocessamento com Imagens e Integração com Agricultura de Precisão

O termo Geoprocessamento, denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Tal tecnologia, influencia de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia, Planejamento e Análise Ambiental.

As ferramentas utilizadas no Geoprocessamento, doravante chamadas de *Sistemas de Informações Geográficas* (SIG), permitem realizar análises extremamente complexas, integrando dados de diversas fontes e ao criar um banco de dados georeferenciado, tornam ainda possível a automatização da produção de documentos cartográficos.

A realização de novos estudos, principalmente, àqueles referentes a Recursos Naturais, levou o surgimento de mapeamentos específicos, como os de distribuição de tipos de solo, uso de solo, vegetação, características químicas do solo, etc.... Estes mapas, passam a ser denotados como *Mapas Temáticos*, devido ao fato de conter somente informações de um determinado assunto; são normalmente confeccionados sobre uma base topográfica simplificada para facilitar a orientação e o entendimento dos usuários.

2.3.1 Relações Espaciais entre Fenômenos Geográficos

Os variados fenômenos geográficos, ao se distribuírem sobre a superfície da Terra, estabelecem diferentes padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos da inter-relação entre eles. Estes padrões podem assumir formas diferentes:

Correlação espacial - um fenômeno espacial (ex. topografia) está relacionado com o entorno de forma, tão intensa quanto maior for a proximidade de localização. Diz-se informalmente que “coisas próximas são parecidas” (Câmara E Medeiros, 1996)

Correlação Temática - as características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim o clima, as formações geológicas, o relevo, o solo, a vegetação formam uma totalidade inter-relacionada. Deste modo, pode-se traçar pontos de correspondência entre o relevo e o solo ou o solo e a vegetação de uma região.

Correlação Temporal - a forma da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente.

Correlação Topológica - de supra importância para a representação computacional dos dados geográficos, as relações topológicas como adjacências, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, translação e à escala.

2.3.2 - Descrição de SIG

O termo SIG – Sistemas de Informações Geográficas, é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena dados

geográficos e atributos dos dados, que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa Projeção Cartográfica.

“Podemos definir um SIG, por ser um sistema que oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados, bem como inserir, integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e de cadastro urbano, rural, imagens de satélite e de modelos numéricos de terreno.” (Medeiros et al., 1996).

Numa visão mais abrangente, podemos visualizar num SIG, os seguintes componentes e arquitetura:

FIGURA 2.2 – Arquitetura de Sistemas de Informações Cartográficas

A entrada e a integração dos dados relaciona-se com o tipo de informação que é adquirida, como por exemplo, dados de mapas, dados tabulares, dados de campos, dados de outras bases digitais e dados de sensores remotos. Estes dados, são armazenados e recuperados de forma estruturá-los e organizá-los de acordo com a sua posição geográfica. A consulta e análise espacial possibilitam a correção dos dados e a aplicação dos métodos de análise sobre estes dados para a solução das consultas, a que serão submetidos. Já o produto final gerado em um SIG, permite saídas em mapa temáticos, dados para outras bases digitais e dados de entrada para modelos.

2.3.3 Aplicações de Receptores GPS na Agricultura de Precisão

Há diversas razões para se acreditar que o crescente uso de receptores GPS deverá se expandir ainda mais no futuro próximo.

Em primeiro lugar, deve-se considerar que, embora tenha sido concebido há mais de 20 anos, apenas recentemente o sistema se tornou totalmente operacional, quando passou a funcionar com os 24 satélites previstos (Krüger, 1994). Apesar das simulações feitas, que levaram a previsões sobre a precisão e a disponibilidade do sistema, os resultados obtidos na prática superaram as expectativas em muitos aspectos. E, mesmo assim, um novo bloco de satélites já está sendo construído, enquanto novas melhorias são discutidas para o futuro. É de se esperar, portanto, que o sistema ainda venha a ser bastante aperfeiçoado (Blitzkow, 1995).

Uma forte razão, de natureza política, deve também ser considerada. A aplicação original do GPS era militar; naquela época, o mundo estava dividido em dois blocos antagônicos, e ambos os lados faziam vultosos investimentos naquilo que se chamou "corrida armamentista". Hoje, terminada a "Guerra Fria", vive-se outra realidade, e a tendência é a de que o GPS deixe de ser caracterizado como um instrumento militar, e passe a ser controlado pelo segmento civil da sociedade. Já se comenta, inclusive, a possibilidade do desligamento definitivo da "disponibilidade seletiva" (recurso que propositadamente degrada a precisão do sistema, restringindo a maior precisão aos receptores militares).

Outro fator para a expansão do uso de receptores é o interesse econômico das diversas empresas já estabelecidas no mercado. Cresce cada vez mais o número de fabricantes, comerciantes, provedores de correção para GPS diferencial, prestadores de serviço, editores de publicações especializadas, etc. (Longsdon, 1992). Duas conseqüências importantes dessa expansão de mercado são a crescente ampliação do número de modelos de receptores, cada vez mais especializados para sua aplicação; e a significativa redução do preço: há pouco mais de 10 anos, o receptor mais barato custava perto de 40 mil dólares, enquanto hoje há modelos que custam menos de 200 dólares.

É natural, portanto, que continuem surgindo as mais variadas aplicações para o GPS (Paz, 1996). Para muitas delas, os receptores disponíveis são auto-suficientes. Os recursos que eles oferecem - teclado, mostrador, memória, canal de comunicação com um computador - em geral atendem às necessidades das aplicações.

Cresce, porém, o número de casos nos quais o receptor GPS é parte de um sistema maior, atuando apenas como fornecedor de informações sobre posicionamento. Isso ocorre, por exemplo, nos equipamentos utilizados em Agricultura de Precisão, para os quais a informação de posição tem importância fundamental (Searcy, 1995; Sttaford, 1994). O

computador de bordo de um veículo agrícola, em geral, conecta-se a um receptor GPS, para dele receber informações sobre sua posição.

2.3.4 Sistema de Projeção UTM

Todos os mapas obtidos em processos de modelagens são representações da superfície terrestre, que projetam cada ponto do globo terrestre em uma superfície plana (Câmara & Medeiros, 1996). Para se obter esta correspondência, utilizam-se os sistemas de projeções cartográficas.

O Sistema de Projeção UTM é um sistema de representação plana do elipsóide terrestre por vários sistemas parciais, composto por fusos de seis graus de amplitude e meridiano centrais múltiplos de três graus. A projeção executada sobre o cilindro de eixo coincidente como eixo maior do elipsóide (perpendicular à linha dos pólos e por isso reverso) secante ao mesmo por duas linhas simetricamente dispostas com relação ao meridiano central. O desdobramento deste cilindro resulta num plano, conhecido como plano UTM, que representa a região ou os pontos do elipsóide terrestre contidos no respectivo fuso, segundo um sistema de coordenadas plano-retangulares (Santos et al., 1996)

O sistema de projeção deve ser escolhido de acordo com as características da área a ser mapeada, analisando-se a localização, forma e a extensão da mesma. As projeções dividem-se em Planas, Cônicas e Cilíndricas e, por sua vez, subdividem-se em Conformes, Equivalentes e Eqüidistantes. São propriedades para conservação dos ângulos, áreas e distâncias da feição mapeada, respectivamente (Santos et al., 1996).

“O Mapa é uma representação reduzida da superfície topográfica e todos os outros elementos da superfície terrestre. Desta forma, a escala de um mapa determina a quantidade de informação que pode ser mostrada. Como consequência da redução de escala, tem-se a necessidade de realizar uma generalização, que aumenta de forma progressiva, ou seja, quanto menor a escala de um mapa, maior será seu grau de generalização” (Sultanum, 1997).

A generalização cartográfica tem como objetivo a produção de uma imagem legível e bem definida, em concordância com a escala do mapa e/ou com o seu propósito. Portanto, ela requer conhecimentos prévios quanto à essência e à função do mapa.

2.4 Aspectos Agronômicos Relacionados com o Trabalho

2.4.1 Revisão sobre Reposição de Nutrientes

O solo é a parte superficial intemperizada da crosta terrestre, não consolidada, e contendo matéria orgânica e seres vivos (Van Raij, 1981). Nele se desenvolvem os vegetais,

obtendo através das raízes, a água e os nutrientes. Esses nutrientes, quando em baixa quantidade para determinadas culturas produzirem, têm que ser repostos. Essa reposição de nutrientes é feita através da adubação e da calagem.

A agricultura intensiva depende, de forma crescente e irreversível, da utilização de insumos e tecnologias modernas.

São muito os fatores que afetam o rendimento das culturas; entre eles, ocupa lugar de destaque, a disponibilidade de nutrientes para a planta.

A calagem e a adubação são hoje práticas essenciais para criar, manter ou aumentar a produtividade das culturas. O elevado custo dos corretivos e fertilizantes exige, contudo, seu emprego com o máximo critério técnico. Deve-se levar em consideração, também, o impacto ambiental. Com isso, e levando em consideração um histórico (temporalmente) e necessidades variando espacialmente (geoestatística), buscou-se neste trabalho, sobretudo, a sugestão de uma aplicação segundo essas necessidades de nutrientes.

Em culturas de alta demanda de nutrientes, como a de plantas frutíferas, a análise de solo pode fornecer informações muito úteis sobre a necessidade de correção de acidez e de suprimento de elementos essenciais (Natale et al., 1996). Entretanto, deve-se ter presente que, unicamente a análise de solo e a fertilização não garantem o sucesso da atividade agrícola. Assim, a prática da adubação deve ser concomitante ao adequado controle de pragas, doenças, ervas daninhas, manejo e conservação do solo, entre outros.

A seguir são descritos alguns passos a serem seguidos para que se possa chegar ao propósito geral, que é a recomendação de nutrientes.

2.4.1.1 Amostragem de solo

A amostragem de solo é a primeira etapa de um processo de recomendação de fertilizantes. Nunca é demais lembrar que, por mais bem feita que seja uma análise, ela não corrige falhas na retirada da amostra ou na sua representatividade.

Detalhes sobre amostragem de solo, tais como definição de glebas, retirada de amostras compostas, ferramentas utilizadas, local e profundidade de amostragem, são apresentados em impressos específicos para o assunto, porém alguns aspectos importantes são lembrados aqui, visando mais à uniformidade do procedimento.

2.4.1.2 Glebas a amostrar

É importante fazer um croqui ou mapa da propriedade, indicando a posição das glebas que serão amostradas e identificando-as. As glebas é o local onde as amostras serão

colhidas. Esse croqui deve ser guardado, juntamente com os resultados de análise, para acompanhamento da evolução da fertilidade do solo com o passar dos anos.

2.4.1.3 Frequência e época de amostragem

A análise de solo deve ser repetida em intervalos que podem variar de um a quatro anos, dependendo da intensidade de adubação e do número de culturas anuais consecutivas, empregando maior frequência de amostragem para glebas que receberem maiores aplicações de adubos.

As amostras devem ser retiradas vários meses antes do plantio, já que diversas providências dependem do resultado de análise do solo, e antes da aração, pois é conveniente fazer a calagem antes dessa operação.

2.4.1.4 Local e profundidade de amostragem

Nos casos de culturas anuais e de culturas perenes a serem instaladas após a aração do terreno, retirar as amostras em todo o terreno e a uma profundidade até 20cm, a chamada camada arável.

Para culturas perenes em que o terreno não será mais arado, como café e frutíferas, retirar as amostras dos locais onde o adubo é aplicado.

Levando em consideração o exemplo da cultura da goiabeira, é importante amostrar, além da camada superficial do terreno (0-20cm), a subsuperficial (21-40cm), a fim de conhecer possíveis limitações químicas.

2.4.1.5 Apresentação dos Resultados de Análise de Solo

A amostra recebida no laboratório é seca e passada em peneira de 2mm. Todos os resultados são expressos com base no volume da terra assim preparada, chamada de terra fina seca ao ar (TFSA).

Os resultados da análise química são os seguintes :

P resina : fósforo extraído do solo mediante resina trocadora de íons.

M.O.: matéria orgânica, expressa em porcentagem (%), com base em medidas de volume de terra;

pH em CaCl_2 : pH determinado em solução centomolar de cloreto de cálcio;

K : potássio trocável;

Ca : cálcio trocável;

Mg : magnésio trocável;

H + Al : hidrogênio mais alumínio ou acidez potencial medida a pH 7;

S : soma das bases, ou $Ca + Mg + K$;

T : capacidade de troca de cátions ou $S + (H + Al)$;

V : porcentagem de saturação em bases, ou $V = 100/T$.

2.4.1.6 Interpretação de Resultados de Análise de Solo

Uma das premissas básicas do uso da análise de solo e de sua interpretação, é a existência de correlações entre os resultados da análise química e a resposta de culturas à adubação ou calagem, em condições de campo. A recomendação para a reposição de nutrientes será dada segundo o índice de cada elemento no solo.

Deve-se levar em consideração o índice dos elementos no solo e, também, a cultura que será ou está sendo cultivada, bem como o patamar de produção que se deseja atingir, pois, dentro de um limite, a cultura responderá proporcionalmente à quantidade de fertilizantes aplicada.

Existem estudos para as mais diversas culturas, sendo montadas tabelas de adubação, segundo o nível dos nutrientes, bem como a produção de cada cultura cultivada.

Em culturas anuais como é o caso do milho, a recomendação de nutrientes é feita para a implantação da cultura. Em culturas perenes, como é o caso da laranja ou da goiabeiras, são feitas adubações de plantio, formação e produção. Em ambos os casos é feita, também, a calagem.

Fósforo e Potássio

Os resultados de fósforo e potássio são divididos em cinco classes de teores, relacionadas com as respostas das culturas às adubações fosfatada e potássica, expressas em termos de produção obtida pela exclusão do elemento.

2.4.2 Critérios para Calagem e Adubação

2.4.2.1 Calagem

A calagem tem basicamente dois objetivos: melhorar as condições do ambiente radicular e fornecer Cálcio e magnésio.

A quantidade de corretivo a ser utilizada, seguirá o conceito de elevação da saturação por bases do solo a um dado valor. Esse valor varia de acordo com a necessidade

de cada cultura, visando suprir a demanda de Ca e Mg e a manutenção do pH que proporcione boa disponibilidade dos nutrientes. Elevar o grau de saturação corresponde a elevar o pH e diminuir a saturação em alumínio.

A necessidade de calagem para elevar a saturação por bases, de um valor fornecido pela análise de solo V_1 , a um valor desejado para a cultura em questão, de V_2 , é dada por pela equação 2.1

$$N.C. = \frac{T(V_2 - V_1)}{PRNT} \quad (2.1)$$

NC = necessidade de calcário (t há⁻¹)

T = capacidade de troca de cátions do solo

V_1 = saturação por bases, revelada pela análise de solo, na camada 0-20 cm (%)

V_2 = saturação por bases desejada para a cultura em cultivo.

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário (%)

Os resultados são fornecidos em toneladas por hectare e por 20cm de profundidade, em termos de Ca CO₃ equivalente.

Nas tabelas de adubação são apresentadas dois limites de V_2 . Como por exemplo, no caso do algodão, os limites são 60 a 70%. Isso significa que deve-se recomendar calcário quando o valor de V for inferior a 60%, calculando, porém, as quantidades para atingir 70%.

Além dos valores de saturação em bases desejados, variáveis entre as diversas culturas, as tabelas incluem limites máximos para a quantidade de calcário a aplicar.

A calagem deve suprir o magnésio. Para a maioria das culturas, um mínimo acima de 0,4 meq/100cm³ de Mg deve bastar. Para culturas mais exigentes ou muito adubadas com potássio, é conveniente adotar um mínimo de 0,8 meq/100cm³ de Mg.

Para fins práticos, pode-se considerar que 1,5t/ha de calcário permite elevar o magnésio do solo em 0,4meq/100cm³.

2.4.2.2 Adubação Orgânica

A adubação orgânica limita-se a culturas perenes, principalmente no período de formação, à maioria das hortaliças e algumas culturas de pequena expressão geográfica, intensivas, que geralmente exigem altos investimentos de capital e/ou mão-de-obra, e cuja

viabilidade econômica depende de alta produtividade. Nas demais culturas, a pequena disponibilidade de adubos limita o seu uso generalizado.

Mesmo que a adubação orgânica não possa ser efetivada diretamente, adotar todas as práticas possíveis para preservar a matéria orgânica existente no solo, fator essencial na manutenção ou aumento da produtividade. Dentre elas, considerar a conservação adequada do solo e rotação com leguminosas ou culturas que deixem grande quantidade de restos orgânicos no terreno. Outra alternativa é a adubação verde, que tem sido usada com sucesso em culturas extensivas em algumas regiões paulistas.

2.4.2.3 Adubação com Nitrogênio Fósforo e Potássio

Para as culturas mais importantes, foi possível estabelecer as chamadas doses mais econômicas de nitrogênio, fósforo e potássio, a análise de solo é eficaz para determinar o grau de resposta esperado e, nesses casos, as adubações foram determinadas para as diferentes classes de teores dos elementos no solo.

No concernente ao nitrogênio, a análise do solo não é eficaz, utilizando-se outros critérios, como a medida do teor de clorofila nas folhas da cultura para a inferência das concentrações, ou ainda o histórico da gleba ou a produtividade esperada.

Capítulo 3

3.1 Introdução

Neste terceiro capítulo serão abordados aspectos teóricos e práticos de temas e dispositivos nos quais este trabalho está baseado.

Dentre eles, será discutida a instrumentação inteligente e suas técnicas de implementação, tais como microcomputadores de placa única, sistemas de computadores compatíveis com PC e microcontroladores, com ênfase especial para o microcontrolador 80535, que é empregado neste estudo .

3.2 Instrumentação Inteligente

3.2.1 Considerações Básicas

Recentemente tem-se obtido controladores e sensores inteligentes através do emprego de computadores em uma única placa, ou com o uso de microcontroladores. Estes dispositivos vêm se tornando cada vez mais baratos e completos em termos das tarefas que devem ser executadas. O objetivo é minimizar a interação destes sensores ou controladores com o computador *host*, fazendo com que eles trabalhem de forma autônoma e independente, reservando para o *host* a tarefa mais nobre da análise de dados e a exibição em tempo-real, deixando tarefas triviais e repetitivas associadas a aquisição e processamento dos dados brutos por conta da inteligência distribuída. A comunicação entre as unidades inteligentes e o *host* é feita através de um protocolo de transmissão de dados e controle pré-definido (Howell, 1990).

Na figura 3.1 tem-se o esquema de um sistema convencional que não emprega inteligência distribuída, no qual um computador é responsável pela geração do estímulo apropriado e pela interpretação de informação de estado e de dados experimentais. Desta forma o computador está sendo usado de forma ineficiente, realizando operações triviais em intervalos freqüentes e o computador geralmente não está disponível para outras tarefas desejadas como análise e manipulação de dados.

Figura 3.1 - Arquitetura Convencional

Na figura 3.2 vemos um sistema que incorpora unidades inteligentes entre o computador *host* e os sensores ou controladores, permitindo gerenciamento ou interpretação de uma ou mais interfaces, aliviando o *host* de tarefas repetitivas e triviais.

Figura 3.2 - Arquitetura Incorporando Unidades Inteligentes

Visto que várias unidades inteligentes possam ser requeridas num único sistema, elas devem realmente ser bem estruturadas e de custos compensáveis, visto que cada uma delas pode ser associada a somente um número limitado de sensores ou controladores. Outra importância é a facilidade de desenvolvimento do *hardware* e do *software* de aplicação constituintes das unidades inteligentes, podendo ser modulares e dedicados a tarefas específicas, repetitivas e mesmo triviais.

O advento dos instrumentos inteligentes com capacidades grandemente ampliadas em relação a instrumentação convencional levou o usuário a esperar por mais dados além de simples leituras, como por exemplo condições de alarme e informações de diagnóstico. Linearização de transdutores e calibração automática têm sido práticas comuns em instrumentos microprocessados ou microcontrolados. Níveis de calibração podem ser indicados através de entradas do instrumento independentes do canal de comunicação (Atkinson, 1987).

Os métodos de aplicação de sinais de calibração são diversos, entre eles, magnético, óptico, ultra-sônico.

Portanto, um instrumento chamado inteligente apresenta, se não todas, algumas das características relacionadas a seguir:

- I. compensação de sensibilidade;
- II. auto-linearização;
- III. auto-calibração;
- IV. auto-diagnóstico;
- V. informação de estado;
- VI. *display* de leitura/estado do instrumento;
- VII. capacidades de transmissão remota (Atkinson, 1987).

3.2.2 Vantagens de se Implementar Inteligência em Instrumentação

Dentre as vantagens do uso de inteligência local em instrumentação tem-se:

- liberação do *host* para tarefas nobres como exibição de dados em tempo-real e análise de dados complexos.
- controle do *hardware* local com fornecimento de informação de estado e diagnóstico através de auto-checagem que é de muita importância em sistemas complexos de instrumentação.
- medição e correção automática de defeitos relativos aos sensores, como *offsets*, *drifts* de tempo e de temperatura, como também não linearidades. Possibilidade de auto-verificação periódica através de constantes armazenadas em memória local.
- compilação de sumário dos dados adquiridos e transmissão do mesmo de forma conveniente (fatores de correção, conversão para unidades apropriadas já realizada na inteligência local).
- reconfiguração dinâmica do instrumento, realizada através do *host*, possibilitando uma instrumentação que se adapte a diferentes situações.
- possibilidade de criação de grandes sistemas, com grande número de unidades inteligentes que possam se comunicar entre si ou com o *host*, uma vez que o desempenho deste último praticamente independe do número de unidades. Para isto, pode-se utilizar padrões de comunicação serial populares como o RS232C ou o RS485, os quais possibilitam grande facilidade e baixo custo de instalação, admitindo distâncias consideráveis entre uma unidade e o *host*, muito importante em aplicações industriais e de aquisição de dados em ambientes hostis, ou ainda em ambientes agropecuários.
- a versatilidade da instrumentação inteligente traz vantagens significantes para aplicações industriais, como verificação independente da operação do instrumento e emissão de condições de alarme, aumentando a confiabilidade e durabilidade da instrumentação (Howell, 1990).

Entretanto, para se incorporar inteligência local num instrumento ou sistema, deve-se ter convicção de que a complexidade adicional é justificada. Dificuldades surgem no que diz respeito a projeto, construção, detecção e correção de falhas, manutenção de sistemas inteligentes, que serão aumentadas pela sofisticação de *hardware* e *software* de controle, pela gerência do instrumento e pelos protocolos de comunicação.

3.2.3 Opções de Implementação de Inteligência

Existem vários meios de se implementar inteligência, dentre eles sistemas de controle digital baseados em tecnologia SSI, MSI, e LSI, microcomputadores comerciais, computadores de placa única e microcontroladores. Ambos apresentam vantagens e, portanto, deve-se adequá-las a cada aplicação, com compromisso entre custo, facilidades de desenvolvimento, tamanho físico e capacidades: poder de processamento, memória, provisões de I/O e dispositivos de suporte.

3.2.3.1 Microcontroladores

Uma das maiores vantagens de se implementar inteligência através de microcontroladores está na simplicidade de *hardware*, visto que este componente apresenta vários dispositivos típicos num único circuito integrado (por isso é chamado de computador de *chip* único), evitando o árduo processo de desenvolvimento e detecção de erros de *hardware*. Outras vantagens são o seu reduzido tamanho físico e facilidade de desenvolvimento de *software* de aplicação, visto que existem ferramentas de desenvolvimento compreensivo para a maioria das famílias, tornando esta etapa rápida e barata.

Um microcontrolador geralmente possui uma CPU, memória limitada *on-chip* (RAM e ROM), UARTs (transmissores/receptores assíncronos universais) com gerador de taxa de transmissão, suporte para DMA (acesso direto a memória) e interrupções, contadores/temporizadores, I/O digitais, geralmente através de várias portas bidirecionais, programáveis a nível de *bit*, *nibble* e *byte*.

Dentro da maioria das famílias de microcontroladores existem dispositivos melhorados, destinados a aplicações específicas, que além das características acima pode apresentar algumas outras tais como contadores/temporizadores melhorados, I/O paralelas e interfaces digitais de alta velocidade, conversor A/D multiplexado, temporizadores *watchdogs*, saída de pulsos e *drivers* de *display*.

Tudo isto possibilita a construção de sistemas de controle complexos adicionando-se apenas alguns componentes externos ao microcontrolador.

Outra característica existente em alguns poucos microcontroladores é a inclusão de “*software* em silício”, no qual a ROM já vem programada com algum sistema operacional ou interpretador de linguagem de alto-nível.

Microcontroladores têm sido amplamente empregados comercialmente em indústria automotiva, controle de processos, utensílios domésticos entre outros.

Fabricantes têm anunciado sensores industriais e unidades de condicionamento de sinais baseados em microcontroladores, possibilitando auto-calibragem, auto-escala, linearização, compensação, melhorando a acuracidade e estabilidade do dispositivo.

As vantagens dos microcontroladores sobre os microprocessadores são evidentes, e suas aplicações devem aumentar cada vez mais. Já existem microcontroladores de 8 *bits* ou de 32 *bits* baseados em arquitetura RISC e desempenho de 5 MIPS (milhões de instrução por segundo). Quando conveniente, são empregados microcontroladores de 4 bits cuja operação também é bastante eficiente. Também existem microcontroladores baseados em processadores digitais de sinais, possibilitando o desenvolvimento de sistemas DSP em um único circuito integrado, como por exemplo o DSC320C14 e o TMS320C40 entre outros.

3.2.3.2 Computadores de Placa Única (SBC's)

Os computadores de placa única são muito utilizados em ambiente industrial por fornecer solução rápida e conveniente para muitos problemas. Geralmente constituem-se de uma CPU de 8, 16 ou 32 bits, I/O paralela e serial, contador/temporizador, RAM suficiente para software de aplicação, ROM que pode conter monitores, assembler/debugger e interpretadores de linguagem de alto nível, tudo numa única placa de tamanho pré-definido. Geralmente apresentam possibilidade de melhorar suas capacidades através de cartões de I/O, cartões estes que podem ou não incorporar inteligência local (através de microprocessadores), para execução de determinadas tarefas. Para gerenciar e programar a distribuição de inteligência no sistema foram desenvolvidas linguagens específicas, como por exemplo a linguagem CLIP, que é uma linguagem de controle para periféricos inteligentes.

Entre as vantagens dos SBC's, tem-se disponibilidade comercial, hardware pronto e facilidade de software de desenvolvimento. Entretanto, eles também apresentam desvantagens significantes, evidentes principalmente em aplicações de larga-escala, entre as quais tem-se o alto custo, tanto da placa como do hardware de suporte, como cartões adicionais e fonte de alimentação, características redundantes e inapropriadas para uma aplicação específica.

3.2.3.3 Sistemas de Computador Compatíveis com PC

O recente advento de computadores compatíveis com PC baratos tem removido certas restrições à implementação de instrumentos ou sistemas em torno de computadores

comerciais dedicados. Tais restrições existiam no que diz respeito a custo e tamanho físico. As vantagens são claras pois além do PC fornecer facilidades para desenvolvimento como teclado, monitor, *disk drivers*, a sua utilização também dispensa preocupações com projeto de embalagens e fontes de alimentação. Outra vantagem é a disponibilidade de utilização de qualquer linguagem desejada ou pacotes de software para o programa de aplicação, e após finalizar este programa, ele pode ser diretamente incorporado na memória do PC através de EPROM ou no arquivo AUTOEXEC.BAT. A comunicação com o “host” também é bastante simples, feita através de barramentos seriais disponíveis no PC. Quando o tamanho físico é preocupação principal, já é possível implementar um PC em placa única.

Portanto, a aplicação deste tipo de hardware vem se tornando cada vez mais barata e amplamente disponível.

3.2.4 Facilidades de Desenvolvimento

A facilidade de desenvolvimento é um ponto crucial e a ela deve ser dada grande importância ao se comparar os diferentes métodos de se implementar inteligência, antes de se tomar uma decisão definitiva a respeito do hardware a ser utilizado.

Geralmente o processo de desenvolvimento de um software de aplicação é composto de 3 etapas :

- 1) criação do código fonte, num editor de texto qualquer, para que este seja compilado ou *assembled*, dando origem ao código objeto.
- 2) carregar o código objeto na RAM do sistema (se possível após simulação), executá-lo e corrigi-lo.
- 3) gravar o programa final em EPROM, finalizando-se assim o sistema.

Já existem SBC's e microcontroladores com interpretadores de linguagem de alto nível, mas as facilidades proporcionadas para correção e controle em tempo-real variam muito. Ao se optar por empregar linguagem de alto nível deve-se levar em conta que o tamanho do código gerado é maior que o tamanho de um código gerado por linguagem de baixo nível como Assembly por exemplo. Neste caso, existem Assembler's comercialmente disponíveis que oferecem testes adequados e facilidades de correção (Howell, 1990)

A aplicação de instrumentação inteligente em um sistema complexo de aquisição de dados e controle geralmente resulta em significativa melhoria no desempenho do sistema, fornecendo também facilidades que dificilmente ou nunca se alcançaria usando técnicas convencionais. Existem vários métodos de se implementar tal inteligência, como vimos

anteriormente, cuja escolha apropriada depende principalmente da aplicação a qual o sistema se destina. Com os benefícios da incorporação de inteligência dedicada tornando-se cada vez mais evidentes, o interesse neste tipo de implementação irá aumentar cada vez mais.

3.3 O Microcontrolador 80535

3.3.1 Introdução

O microcontrolador 80535 é de 8 bits e baseia-se na arquitetura do microcontrolador 8051. Ele mantém todas as características operacionais do 8051, incorporando algumas melhorias que resultam em significativo aumento de flexibilidade de seu uso para projetos dedicados.

As principais características do microcontrolador 80535 são memória RAM de 256 bytes, 6 portas de 8 *bits*, resultando 48 linhas de I/O, 3 temporizadores / contadores de 16 *bits*, sendo um desses temporizadores com capacidade de recarga, captura, e comparação, porta serial *full-duplex*, 12 fontes de interrupção com 4 níveis de prioridade, conversor analógico/digital de 8 *bits*, temporizador *watchdog* de 16 *bits*, tensão para 40 *bytes* de RAM no caso de falha na alimentação, processador booleano, 256 locações endereçáveis por *bit*, maioria das instruções executadas em 1 μ s, capacidade de endereçamento de espaço de memória de programa de 64K e capacidade de endereçamento de espaço de memória de dados também de 64K.

A figura 3.3 mostra o diagrama de blocos do 80535.

3.3.2 O Hardware do 80535

3.3.2.1 CPU

O 80535 é eficiente tanto como um controlador como um processador aritmético. Ele apresenta grandes facilidades para aritmética binária e em código BCD e também para manipulação de *bits*. A sua série de instruções é composta por 44% de instruções de um *byte*, 41% de instruções de dois *bytes* e 15 % de instruções de três *bytes*, possibilita o uso eficiente de sua Memória de Programa (a versão 80515 apresenta uma ROM interna de 8K). A maioria de suas instruções são executadas num único ciclo de máquina. Com um cristal de 12 MHz, 58% das instruções são executadas em 1 μ s.

Figura 3.3 - Diagrama de Blocos do Microcontrolador 80535

3.3.2.2 Organização da Memória

O 80535 manipula espaços de endereço de memória de acordo com a figura 3.4.

3.3.2.2.1 Memória de Programa

O 80535 não tem ROM interna, de modo que o pino EA deve ser mantido em nível baixo ao se usar este dispositivo. Isto deve ser feito através de conexão externa de EA a V_{SS}.

Figura 3.4 - Estrutura de Memória do 80535

O sinal de leitura $\overline{\text{PSEN}}$ é usado para todas as buscas de programa externo. A configuração de *hardware* para execução de programa externo é mostrada na figura 3.5. As Portas 0 e 2 são usadas como linhas de I/O dedicadas a função de barramento. A Porta 0 funciona como um barramento de Endereço/Dados multiplexado. Ela emite o *byte* menos significativo do Contador de Programa como um endereço, e depois flutua esperando a chegada do *byte* de código da Memória de Programa. Enquanto o *byte* de endereço está presente na Porta 0 o sinal ALE (Habilitação de *Latch* de Endereço) faz com que este *byte* seja escrito no *latch* de endereço. A Porta 2 emite o *byte* mais significativo do Contador de Programa. O sinal $\overline{\text{PSEN}}$ faz com que o *byte* de código seja lido pelo microcontrolador através da Porta 0.

Como o 80535 não possui Memória de Programa Interna, as Portas 0 e 2 ficam com o seu uso restrito à leitura de Memória de Programa Externa.

Figura 3.5 - Execução de Memória de Programa Externa

3.3.2.2.2 Memória de Dados

O espaço de Memória de Dados consiste de um espaço de memória interno e outro externo. A Memória de Dados Externa pode ser expandida até 64K e pode ser acessada por instruções que usam um endereço de 8 ou 16 *bits*.

A Memória de Dados interna está dividida em três blocos fisicamente separados e distintos:

- os 128 *bytes* mais baixos de RAM;
- os 128 *bytes* mais altos de RAM;
- e a área de 128 *bytes* de registradores de funções especiais (SFR).

A figura 3.6 ilustra o mapeamento da memória de dados interna.

Figura 3.6 - (a) Memória de Dados Interna (b) Os 128 *bytes* mais Baixos da RAM Interna

Uma vez que os 128 *bytes* mais altos de Memória de Dados e a área de SFR compartilham as mesmas localidades de endereço, elas somente são acessadas através de diferentes modos de endereçamento. Os 128 *bytes* mais baixos de Memória de Dados pode ser acessado por endereçamento direto ou indireto. Os 128 *bytes* mais altos de RAM podem ser acessados através de endereçamento indireto via registrador, e os registradores de funções especiais são acessados somente por endereçamento direto.

Quatro bancos de 8 registradores cada um ocupam as localidades de 0 a 1Fh na área mais baixa da RAM. Os próximos 16 *bytes*, de 20h a 2Fh, contém 128 localidades de *bits* diretamente acessíveis. O Apontador de Pilha pode ser alocado em qualquer lugar no espaço de endereço da Memória de Dados Interna, e sua profundidade pode chegar a 256 *bytes*.

Todos os registradores, exceto o Contador de Programa e os quatro bancos de 8 registradores, residem na área de registradores de funções especiais. Os 41 registradores de funções especiais incluem registradores aritméticos, apontadores, e registradores que fornecem uma interface entre a CPU e as funções periféricas contidas no circuito integrado. Também há 128 *bits* diretamente endereçáveis na área de SFR. Os registradores de funções especiais estão listados na tabela 3.1 e o seu mapeamento na Memória de Dados está ilustrado na figura 3.7

8 Bytes								
F8	P5							FF
F0	B							F7
E8	P4							EF
E0	ACC							E7
D8	ADCON	ADD AT	DAPR					DF
D0	PSW							D7
C8	T2CON		CRCL	CRCH	TL2	TH2		CF
C0	IRCON	CCE N	CCL1	CCH1	CCL2	CCH2	CCL3	C7
B8	IEN1	IP1						BF
B0	P3							B7
A8	IEN0	IP0						AF
A0	P2							A7
98	SCON	SBUF						9F
90	P1							97

Figura 3.7 - Mapa de Memória dos Registradores de Função Especial

Tabela 3.1 - Registradores de Função Especial (Parte)

Endereço (HEX)	Símbolo	Nome	Valor após Power-On/Reset
* 80	P0	Porta 0	11111111
81	SP	Stack Pointer	00000111
82	DPL	Apontador de Dados, Byte BAIXO	00000000
83	DPH	Apontador de Dados, Byte Alto	00000000
87	PCON	Registrador de Controle de Potência	0xxxxxxx
* 88	TCON	Registrador de Controle de Timer	00000000
89	TMOD	Registrador de Modo de Timer	00000000
8A	TL0	Timer 0, Byte BAIXO	00000000
8B	TL1	Timer 1, Byte BAIXO	00000000
8C	TH0	Timer 0, Byte ALTO	00000000
8D	TH1	Timer 1, Byte ALTO	00000000
* 90	P1	Porta 1	11111111
* 98	SCON	Registrador de Controle da Porta Serial	00000000
99	SBUF	Registrador Buffer da Porta Serial	Indeterminado
* 0A0	P2	Porta 2	11111111
* 0A8	IEN0	Registrador 0 de Habilitação de Interrupção	00000000
0A9	IP0	Registrador 0 de Prioridade de Interrupção	00000000
* 0B0	P3	Porta 3	11111111
* 0B8	IEN1	Registrador 1 de Habilitação de Interrupção	00000000
0B9	IP1	Registrador 1 de Prioridade de Interrupção	00000000
* 0C0	IRCON	Reg. de Controle de Pedido de Interrupção	00000000
0C1	CCEN	Reg. de Habilitação. de Comparação/Capture	00000000

Tabela 3.1 - Registradores de Função Especial (Cont)

Endereço (HEX)	Símbolo	Nome	Valor após Power-On/Reset
0C2	CCL1	Reg. 1 de Comp./Cap., Byte BAIXO	00000000
0C3	CCH1	Reg. 1 de Comp./Cap., Byte ALTO	00000000
0C4	CCL2	Reg. 2 de Comp./Cap., Byte BAIXO	00000000
0C5	CCH2	Reg. 2 de Comp./Cap., Byte ALTO	00000000
0C6	CCL3	Reg. 3 de Comp./Cap., Byte BAIXO	00000000
0C7	CCH3	Reg. 3 de Comp./Cap., Byte ALTO	00000000
* 0C8	T2CON	Reg. de Controle do Timer 2	00000000
0CA	CRCL	Reg. de Comp./Recarga/Cap., Byte BAIXO	00000000
0CB	CRCH	Reg. de Comp./Recarga/Cap., Byte ALTO	00000000
0CC	TL2	Timer 2, Byte BAIXO	00000000
0CD	TH2	Timer 2, Byte ALTO	00000000
* 0D0	PSW	Registrador Palavra de Status de Programa	00000000
* 0D8	ADCON	Reg. de Controle do Conversor A/D	00000000
0D9	ADDAT	Reg. de Dados do Conversor A/D	00000000
0DA	DAPR	Reg. de Programa do Conversor A/D	00000000
* 0E0	ACC	Acumulador	00000000
* 0E8	P4	Porta 4	11111111
* 0F0	B	Registrador B	00000000
* 0F8	P5	Porta 5	11111111

OBS.: Os registradores marcados com asterisco (*) são endereçáveis tanto pelos bits como pelo byte.

O Acumulador O registrador Acumulador é denominado por ACC. Entretanto, os mnemônicos para instruções específicas do acumulador se referem a ele simplesmente como A.

O Registrador B É usado durante as operações de multiplicação e divisão, podendo ser usado como registrador de uso geral para as outras instruções.

O Registrador PSW (Palavra de Status de Programa) Este registrador contém informação de status de programa.

O Apontador de Pilha (Stack Pointer) Registrador de 8 bits, incrementado antes do

dado ser armazenado durante as execuções das instruções PUSH e CALL. É inicializado com o valor 07h, que faz com que a pilha comece na locação 08h.

Apontador de Dados (DPTR) Registrador de 16 bits separado em dois registradores de 8 bits (DPH e DPL)

Portas 0 a 5 P0, P1, P2, P3, P4, e P5 são os *latches* das Portas 0, 1, 2, 3, 4, e 5 respectivamente.

Buffer Serial de Dados (SBUF) Separado em dois *buffers*: um para transmissão e outro para recepção de dados.

3.3.2.3 Portas de I/O

O 80535 tem seis portas, P0 a P5, de 8 bits. As Portas 1 a 5 quando configuradas como entradas tornam-se ALTAS e fornecerão corrente quando tornadas BAIXAS externamente. A Porta 0 flutuará quando configurada como entrada.

A Porta 0 e a Porta 2 são usadas para acessar as memórias de programa e de dados externas, sendo que durante este acesso, a Porta 0 emite o *byte* de baixa ordem (menos significativo) e a Porta 2 emite o *byte* de alta ordem (mais significativo).

3.3.2.4 Temporizadores / Contadores

O 80535 contém três temporizadores/contadores de 16 bits os quais são úteis para muitas aplicações.

Na função temporizador o registrador é incrementado todo ciclo de máquina. Ele pode ser visto como um contador de ciclos de máquina.

Na função contador o registrador é incrementado em cada transição de nível lógico de 1 para 0 do pino de entrada externa T0 (para o Timer0) ou T1 (para o Timer1). Nesta função, o reconhecimento de uma transição de nível lógico 1 para nível lógico 0 do sinal externo toma o tempo de dois ciclos de máquina, portanto a taxa de contagem máxima é 1/24 da frequência do oscilador (lembrar que a frequência de operação da máquina é 1/12 da frequência do oscilador).

3.3.2.4.1 O Temporizador 0 e o Temporizador 1

Os Temporizadores 0 e 1 podem ser configurados em quatro diferentes modos de operação:

- Modo 0: temporizador / contador de 8 bits com pré-escala de 32:1. A contagem está presente no registrador THx e a pré-escala de 32:1 é implementada através dos cinco primeiros bits do registrador TLx. Quando todos os bits de THx passam

de nível lógico 1 para 0 o *flag* de interrupção de Timer TFx (no registrador TCON) é setado. TRx é um *bit* de controle de Timer no registrador TCON.

- Modo 1: é idêntico ao Modo 0 exceto que é um temporizador / contador de 16 *bits*. THx apresenta os 8 *bits* mais significativos da contagem e TLx apresenta os 8 *bits* menos significativos da contagem.
- Modo 2: configura o registrador contador do *timer* como um contador de 8 *bits* (TL1) com recarga automática. Quando ocorre *overflow* de TLx o *flag* TFx é setado, e o valor pré-ajustado por *software* de THx é carregado em TLx e THx permanece inalterado.
- Modo 3: Neste modo de operação os Temp./Cont. 0 e 1 apresentam funcionamentos distintos. O Temp./Cont. 0 é configurado como um temp./cont. de 8 *bits* e um temp. de 8 *bits*, enquanto que o Temp./Cont. 1 neste modo mantém-se inoperante.

3.3.2.4.2 O Temporizador 2

Além de operar como temporizador ou contador, o Timer 2 também apresenta as seguintes características:

- recarga de 16 *bits*.
- comparação de 16 *bits*.
- captura de 16 *bits*.

O Timer 2 pode operar como temporizador, contador de evento ou ainda como temporizador gatilhado.

Na função de temporizador, a contagem é incrementada a cada ciclo de máquina ou a cada dois ciclos de máquina, utilizando-se uma pré-escala de 2:1.

Na função de Temporizador gatilhado, o pino de entrada externa T2 (P1.7) funciona como um gatilho para a entrada do timer 2. Se T2=0, o procedimento de contagem é interrompido. Se T2 está alto, a contagem prossegue. Este argumento é útil para medições de largura de pulso.

Na função de contador, o registrador do timer 2 é incrementado em resposta a transição de 1 para 0 no pino de entrada externa T2 (P1.7). Da mesma forma que ocorre nos Timers 0 e 1, a taxa de contagem máxima é 1/24 da frequência do oscilador.

Em qualquer uma das três funções apresentadas, quando ocorre um *overflow* do registrador do timer 2, isto é, quando a contagem passa de todos os *bits* iguais a 1 para todos os *bits* iguais a 0, o *flag* de *overflow* do timer 2 TF2 (*bit* 6 de IRCON) é setado, podendo gerar uma interrupção.

O Modo Recarga

O modo de recarga do Timer 2 apresenta dois modos de funcionamento. No modo 0, quando ocorre um *overflow* no Timer 2, além de setar o *flag* TF2, ele também efetua uma recarga do registrador do Timer 2 (TL2/TH2) com o valor pré-ajustado por *software* presente no registrador de 16 *bits* CRC.

No modo 1, a recarga é causada por uma transição negativa detectada no pino de entrada T2EX/P1.5. Além disto, esta transição fará com que o *flag* EXF2 receba nível lógico 1 se o *bit* EXEN2 de IEN1 estiver setado. Se a interrupção do timer 2 estiver habilitada, isto gerará uma interrupção.

P1.0/INT3/CC0

O Modo Comparação

Neste modo de operação os valores presentes nos registradores de 16 *bits* dedicados a esta função (CRC, CC0, CC1, e CC2) são comparados com o valor do registrador de 16 *bits* do timer 2 (T2). Se os valores coincidirem, é gerado um sinal de saída no pino correspondente da porta 1, e uma interrupção é requerida.

Existem dois modos de operação da função comparação. No modo 0, quando ocorre uma igualdade de valores, o sinal de saída correspondente passa de nível BAIXO para nível ALTO, retornando para nível BAIXO quando o timer 2 sofrer um *overflow*.

No modo 1, a transição do sinal de saída é determinado por *software*, ou seja, o usuário pode selecionar se o sinal faz uma transição de 0 para 1 ou uma transição de 1 para 0 quando o valor do registrador do timer 2 se igualar ao valor comparado. Assim que os valores comparados se igualam, o valor escrito no primeiro *latch* através do *software* é transferido para o *latch* da direita e consequentemente para o pino da porta 1.

Em ambos os modos de operação, o valor presente na porta 1 é modificado no mesmo ciclo de máquina em que ocorre a igualdade dos valores comparados.

Na função comparação, o pino correspondente da porta 1 atua como saída. Portanto, uma instrução de escrita num pino habilitado para função comparação não terá efeito. Já uma instrução de leitura será efetuada normalmente.

O Modo Captura

Existem dois modos diferentes de operação para a função captura. No modo 0, a captura será causada por um evento externo, que pode ser:

- uma transição positiva nos pinos CC1 a CC3. Neste caso a captura do valor do

registrador do Timer 2 ocorrerá nos registradores CC1 a CC3 respectivamente.

- uma transição positiva ou negativa no pino CC0 (dependendo se I3FR=1 ou I3FR=0, respectivamente). Neste caso a captura ocorrerá no registrador CRC.

Neste modo de operação, uma transição nas entradas de captura externas CC0 a CC3 causará a mudança de nível lógico de 0 para 1 dos *flags* de pedido de interrupção externa correspondentes IEX3 a IEX6. Se a interrupção correspondente estiver habilitada, um sinal de captura externo fará com que a CPU aponte para a rotina de serviço de interrupção apropriada.

No modo 1 a captura ocorre em resposta a uma instrução MOV para o *byte* de baixa ordem de um registrador de captura, sendo que o valor escrito no registrador é irrelevante. Neste modo não é gerado pedido de interrupção.

Em ambos os modos de operação, o valor capturado é o valor presente no mesmo ciclo de máquina em que ocorre a captura (ciclo de máquina seguinte ao evento que provocou a captura).

Podem ser estabelecidos modos individuais de operação para cada registrador de captura.

3.3.2.5 O Temporizador *Watchdog*

O 80535 possui um sistema para segurança contra falha de *hardware* ou de *software*, através de um temporizador *watchdog*. Se o *software* não zerar este temporizador no mínimo a cada 65532 μ s, um *reset* de *hardware* interno será inicializado. O *watchdog* também previne um mal funcionamento de *hardware* mais longo que 65 ms (com um oscilador de 12 MHz), pois desta forma o *software* também não zeraria o temporizador.

O temporizador *watchdog* é um contador de 16 *bits* que é incrementado a cada ciclo de máquina. Após um *reset* externo , ele é desabilitado e zerado. O contador é inicializado setando-se o *bit* SWDT (bit 6 de IEN1). Após isto, o temporizador não pode ser parado por *software*. Ele somente pode ser zerado primeiramente setando o *bit* WDT (*bit* 6 de IEN0) e a seguir setando SWDT. O *bit* WDT será automaticamente zerado durante o terceiro ciclo de máquina após ele ter sido setado. Esta dupla instrução para se zerar o *watchdog* foi implementada para se evitar que ele fosse acidentalmente zerado. Portanto, após inicializado, o temporizador deve ser zerado periodicamente para prevenir um *overflow*.

Se o *software* não zerar o *watchdog*, quando o contador estiver em FFFCh um *reset* interno será inicializado, que demora quatro ciclos de máquina. Este *reset* só difere do *reset* externo pelo fato de que o temporizador *watchdog* não é desabilitado e o *bit* WTDS (status do temporizador *watchdog* - *bit* 6 de IP0) é setado. Este *bit* permite o *software* verificar que

o *reset* foi causado por *overflow* do temporizador *watchdog*.

3.3.2.6 A Porta Serial

A porta serial do 80535 permite a comunicação *full-duplex*, isto é, permite receber e transmitir dados simultaneamente, entre microcontroladores ou entre microcontroladores e dispositivos periféricos. A porta serial pode operar em quatro modos.

- Modo 0: Modo Registrador de Deslocamento. Dados seriais entram e saem através de RxD. TxD produz o *clock* de deslocamento. Oito *bits* são transmitidos/recebidos - os primeiros oito *bits* de dados (*byte* menos significativo). A taxa de transmissão é fixada em 1/12 da frequência de oscilação.
- Modo 1: Dez *bits* são transmitidos (através de RxD) ou recebidos (através de TxD) - um *start bit* (0), oito *bits* de dados (primeiro o *byte* menos significativo), e um *stop bit* (1). Na recepção, o *stop bit* vai para o *bit* RB8 do registrador de função especial SCON. Neste modo de operação a taxa de transmissão é variável.
- Modo 2: Onze *bits* são transmitidos (através de RxD) ou recebidos (através de TxD) - um *start bit* (0), oito *bits* de dados (primeiro o *byte* menos significativo), um nono *bit* de dados programável, e um *stop bit* (1). Na transmissão, o nono *bit* de dados (TB8 em SCON) pode ser programado com o valor 0 ou 1, podendo por exemplo ser usado como *bit* de paridade. Na recepção, o nono *bit* de dados vai para RB8 e o *stop bit* é ignorado. A taxa de transmissão neste modo de operação é programável para 1/32 ou 1/64 da frequência de oscilação.
- Modo 3: Onze *bits* são transmitidos (através de RxD) ou recebidos (através de TxD) - um *start bit* (0), oito *bits* de dados (primeiro o *byte* menos significativo), um nono *bit* de dados programável, e um *stop bit* (1). O Modo 3 é semelhante ao Modo 2 em todos os aspectos, exceto a taxa de transmissão, que no Modo 3 é variável.

As taxas de transmissão variáveis podem ser geradas pelo Temporizador 1 ou um gerador de taxa de transmissão interno.

Em todos os quatro modos a transmissão é iniciada por qualquer instrução que usa SBUF como registrador de destino. A recepção é iniciada no Modo 0 pelas condições RI=0 e REN=1. Nos outros modos a recepção é iniciada por um *start bit* chegando se REN=1.

3.3.2.6.1 Gerando Taxas de Transmissão

Porta Serial no Modo 0

A taxa de transmissão no Modo 0 é fixa em :

$$\text{Tx. Transm. Modo0} = \frac{\text{Freq. Osc.}}{12}$$

Porta serial no Modo 1

O Modo 1 apresenta taxa de transmissão variável e é gerada pelo Timer 1.

Para este objetivo, o Timer 1 é usado no Modo 2 (Auto-Recarga). A taxa de transmissão é determinada pelo *overflow* do Timer 1 e pelo valor do *bit* SMOD no registrador PCON, como se segue:

$$\text{Tx. Transm.} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times \text{Freq. Osc.}}{32 \times 12 \times [256 - (\text{TH1})]}$$

Na maioria das vezes o usuário conhece o valor da taxa de transmissão e necessita saber o valor de recarga para TH1 a ser programado. A equação para calcular TH1 pode ser escrita como:

$$\text{TH1} = 256 - \frac{2^{\text{SMOD}} \times \text{Freq. Osc.}}{384 \times \text{Tx. Transm.}}$$

Porta Serial no Modo 2

Neste modo a taxa de transmissão é fixa em 1/32 ou 1/64 da frequência do oscilador dependendo do valor do bit SMOD no registrador PCON.

$$\text{SMOD} = 1 \Rightarrow \text{Tx. Transm.} = 1/32 \text{ Freq. Osc.}$$

$$\text{SMOD} = 0 \Rightarrow \text{Tx. Transm.} = 1/64 \text{ Freq. Osc.}$$

Porta Serial no Modo 3

Neste modo a taxa de transmissão é variável e ajustada exatamente igual ao Modo1.

3.3.2.7 O Conversor Analógico/Digital

O 80535 é provido de um Conversor A/D de 8 *bits* com oito canais de entrada analógica multiplexados. Este conversor tem ainda um circuito *sample and hold* e oferece a vantagem de possibilitar programação de tensões de referência por *software*.

A figura 3.8 mostra o diagrama de blocos do conversor A/D.

Figura 3.8 - Diagrama de Blocos do Conversor A/D

O registrador de função especial ADCON é usado para selecionar um dos oito canais de entrada analógica a ser convertida, para especificar única ou contínuas conversões, e checar o *bit* de estado BSY, que indica se uma conversão está sendo realizada ou não.

O registrador de função especial ADDAT contém o dado digital de 8 *bits* resultante da conversão. O dado permanece em ADDAT até ele ser sobrescrito pelo próximo dado convertido.

O registrador de função especial DAPR é utilizado para programar as tensões internas de referência IV_{AREF} e IV_{AGND} do conversor A/D, sendo cada uma destas tensões programadas por quatro *bits* de DAPR.

3.3.2.8 Estrutura de Interrupções

A estrutura de interrupção do microcontrolador 80535 fornece 12 fontes de interrupção organizadas em 6 pares, e 4 níveis de prioridade. A tabela 3.2 lista os pares de fontes de interrupção do 80535. Cada fonte de interrupção tem sua própria localização de vetor no espaço de endereço de memória de programa de 00h a 06Bh.

Tabela 3.2 - Pares de Fontes de Interrupção

Interrupção Externa 0	-	Interrupção do Conversor A/D
Interrupção do Timer 0	-	Interrupção Externa 2
Interrupção Externa 1	-	Interrupção Externa 3
Interrupção do Timer 1	-	Interrupção Externa 4
Interrupção da Porta Serial	-	Interrupção Externa 5
Interrupção do Timer 2	-	Interrupção Externa 6

As interrupções externas 0 e 1 (INT_0 e INT_1) podem ser ativadas por nível ou por transição negativa de acordo com os *bits* IT_0 e IT_1 no registrador TCON. Os *flags* que geram estas interrupções são IE_0 e IE_1 respectivamente. Se a interrupção for ativada por transição, o *flag* que a originou é zerado pelo *hardware* assim que a rotina de interrupção é apontada. Se a interrupção for ativada por nível, então a fonte de pedido de interrupção controla o *flag* de pedido de interrupção.

As interrupções do Timer 1 e do timer 2 são geradas pelos *flags* TF_0 e TF_1 , de acordo com o funcionamento dos mesmos. Estes *flags* são zerados por *hardware* assim que a rotina de interrupção é acessada.

A interrupção da porta serial é gerada pela lógica OU dos *flags* TI e RI . Estes *flags* não são zerados por *hardware* e após a interrupção, estes *flags* devem ser zerados por *software* na própria rotina de interrupção.

A interrupção do Timer 2 é gerada pela lógica OU dos *flags* TF_2 e EXF_2 . Estes *flags* não são zerados por *hardware* e após a interrupção, estes *flags* devem ser zerados por *software* na própria rotina de interrupção.

Quando uma conversão A/D é iniciada através de uma instrução de escrita no registrador DAPR, uma interrupção será gerada pelo *flag* $IADC$ no registrador IRCON assim que o valor convertido for movido para o registrador ADDAT ao final da conversão. O *flag* de interrupção do conversor A/D $IADC$ deve ser zerado por *software*.

A interrupção externa 2 (INT_2) pode ser ativada por transição negativa ou positiva no pino correspondente, dependendo do *bit* $I2FR$ no registrador T2CON. Esta interrupção é gerada pelo *bit* IEX_2 no registrador IRCON. O *bit* IEX_2 é zerado por *hardware* quando a rotina de interrupção é acessada.

A interrupção externa 3 (INT_3) também pode ser ativada por transição negativa ou positiva no pino correspondente, dependendo do *bit* $I3FR$ no registrador T2CON. O *flag* que

gera esta interrupção é IEX3 no registrador IRCON. Este *bit* também pode ser setado se ocorrer um evento de comparação no pino P1.0/ INT₃/CC₀, isto é, o conteúdo do registrador do timer 2 se igualar ao conteúdo do registrador CRC. O flag IEX3 é zerado por hardware assim que a rotina de interrupção é acessada.

As interrupções externas 4, 5 e 6 (INT₄, INT₅, e INT₆) são ativadas somente por transição positiva no pino correspondente. Os *flags* que geram estas interrupções são IEX4, IEX5, e IEX6, respectivamente, pertencentes ao registrador IRCON. Estes *flags* também podem ser setados se ocorrerem eventos de comparação nos pinos de saída correspondentes P1.1/ INT₄/CC₁, P1.2/ INT₅/CC₂, e P1.3/ INT₆/CC₃. Estes *flags* também são zerados por hardware após a rotina de interrupção ser acessada.

Todos os *bits* que geram interrupções podem ser setados ou zerados por *software* a fim de gerar interrupções ou cancelar aquelas pendentes. Exceção é feita aos *flags* IE0 e IE1, cujas interrupções podem ser ativadas por nível, e neste caso, as interrupções externas 0 e 1 só podem ser geradas por *software* escrevendo um 0 nos pinos INT₀ e INT₁ respectivamente.

Cada uma destas interrupções podem ser habilitadas ou desabilitadas individualmente através do devido ajuste dos registradores IEN0 e IEN1. O registrador IEN0 possui o *bit* EAL, que quando zerado, desabilita todas as interrupções de uma só vez.

3.3.2.8.1 Estrutura de Níveis de Prioridade

Cada par de fontes de interrupção pode ser programado individualmente para um de quatro níveis de prioridade. Esta programação é feita através de *bits* presentes nos registradores IP0 e IP1. A tabela 3.3 relaciona os *bits* com os pares de fontes de interrupção e a tabela 3.4 relaciona os *bits* com os níveis de prioridade.

Tabela 3.3 - Relação entre Bits de IP0 e IP1 e Pares de Fonte de Interrupção

Bits		Par de Interrupção Correspondente
IP1.0	IP0.0	IE0 / IADC
IP1.1	IP0.1	TF0 / IEX0
IP1.2	IP0.2	IE1 / IEX3
IP1.3	IP0.3	TF1 / IEX4
IP1.4	IP0.4	RI+TI / IEX5
IP1.5	IP0.5	TF2+EXF2 / IEX6

Tabela 3.4 - Relação entre Valores de Bits de IP0 e IP1 e Níveis de Prioridade

IP1. x	IP0. x	Nível de Prioridade
0	0	Nível de Prioridade 0 (Mais Baixo)
0	1	Nível de Prioridade 1
1	0	Nível de Prioridade 2
1	1	Nível de Prioridade 3 (Mais Alto)

Uma interrupção pode ser interrompida por outra interrupção de maior nível de prioridade, mas não por uma interrupção de mesmo nível de prioridade ou menor. Se dois ou mais pedidos de interrupção ocorrerem simultaneamente, será primeiramente atendida aquela que tiver maior prioridade. Para o caso de pedidos de interrupção simultâneos de mesmo nível de prioridade, existe um esquema interno, conforme ilustra a tabela 3.5, no qual o nível de prioridade decresce de cima para baixo, e dentro de cada par de fontes de interrupção o nível de prioridade decresce da esquerda para a direita. Deve-se lembrar que este esquema só é válido para pedidos de interrupção simultâneos de mesmo nível de prioridade.

Tabela 3.5 – Prioridade para pedidos de interrupção Simultâneos de mesmo Nível de Prioridade

ALTA	→	BAIXA	Prioridade
Par de Fonte		de Interrupção	
IE0		IADC	ALTA
TF0		IEX2	
IE1		IEX3	↓
TF1		IEX4	
RI + TI		IEX5	
TF2 + EXF2		IEX6	BAIXA

3.3.2.8.2 Como as Interrupções São Manipuladas

Os *flags* de interrupção são amostrados em S5P2 de todo ciclo de máquina, e as amostras são votadas durante o ciclo de máquina seguinte, gerando uma instrução LCALL

para a rotina de interrupção apropriada se houver algum *flag* setado. Esta instrução será bloqueada se houver qualquer uma das seguintes condições:

- 1) Uma interrupção de igual ou maior prioridade estiver em progresso.
- 2) O ciclo corrente (de votação) não é o ciclo final na execução da instrução em progresso. Isto assegura que a instrução em progresso será completada antes da chamada da rotina de interrupção.
- 3) A instrução em progresso é RETI ou qualquer acesso aos registradores IEN0, IEN1, IP0, ou IP1. Isto garante que, para estes casos, no mínimo mais uma instrução será executada antes da chamada de qualquer rotina de interrupção.

O ciclo de votação / sequência LCALL é ilustrado na figura 3.9.

Figura 3.9 - Diagrama de Temporização de Resposta a Interrupção

O processador reconhece um pedido de interrupção executando uma instrução LCALL gerada por *hardware* para a rotina de interrupção apropriada. Esta instrução empurra o conteúdo do Contador de Programa para o Apontador de Pilha (mas não salva PSW) e recarrega o Contador de Programa com um endereço que depende da fonte de interrupção, conforme a tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Endereço de Vetor das Fontes de Interrupção (parte)

Fonte	Endereço de Vetor
IE0	0003H
TF0	000BH
IE1	0013H
TF1	001BH
RI + TI	0023H
TF2 + EXF2	002BH

Tabela 3.6 - Endereço de Vetor das Fontes de Interrupção (cont)

IADC	0043H
IEX2	004BH
IEX3	0053H
IEX4	005BH
IEX5	0063H
IEX6	006BH

A execução procede daquela locação até que uma instrução RETI seja encontrada. Então o Processador reconhece que a interrupção terminou e pega os 2 *bytes* do topo do Apontador de Pilha e recarrega-os no Contador de Programa, que faz com que o programa interrompido continue de onde parou.

3.3.3 O *Software* do 80535

3.3.3.1 Modos de Endereçamento

3.3.3.1.1 Endereçamento Direto

No endereçamento direto o operando é especificado por um campo de endereço de 8 *bits* na instrução. Somente a RAM de Dados interna e os registradores de Função Especial podem ser endereçados diretamente.

Ex.: MOV A, 50h (código E5 50)

3.3.3.1.2 Endereçamento Indireto

No endereçamento indireto a instrução especifica um registrador que contém o endereço do operando. As memórias RAM interna e externa podem ser endereçadas indiretamente.

O registrador de endereço para endereços de 8 *bits* pode ser R0 ou R1 do banco de registrador selecionado, ou o Apontador de Pilha. O registrador de endereço para endereços de 16 *bits* somente pode ser o registrador apontador de dados de 16 *bits* DPTR.

Ex.: MOV @R0, #20h (código 76 20)

MOVX @DPTR, A (código F0)

3.3.3.1.3 Instruções de Registrador

Certas instruções acessam os registradores R0 a R7 do banco de registradores corrente

(selecionado através de PSW), através de 3 *bits* presentes no *opcode* da instrução.

Ex.: INC R0 (código 08)
 INC R1 (código 09)

3.3.3.1.4 Instruções Específicas de Registrador

Algumas instruções são específicas para um certo registrador, que é apontado no *opcode* da instrução. Por exemplo, algumas instruções operam sempre com o acumulador, ou com o Apontador de Dados (DPTR), não sendo necessário apontá-los através de *bytes* de endereço.

Ex.: MUL AB (código A4)

3.3.3.1.5 Constantes Imediatas

O valor de uma constante pode seguir o *opcode* na Memória de Programa. Por exemplo,

MOV A, #100 (código 74 64)

carrega o Acumulador com o número decimal 100. O mesmo número poderia ser especificado em hexadecimal como 64h.

3.3.3.1.6 Endereçamento Indexado

Somente a Memória de Programa pode ser acessada com endereçamento indexado. Este modo de endereçamento tem a finalidade de leitura de *look-up tables* na Memória de Programa. Um registrador de 16 *bits* (DPTR ou Contador de Programa) aponta para a base da tabela, e o Acumulador é ajustado com o número de entrada da tabela. O endereço de entrada da tabela na Memória de Programa é formado pela adição do dado do Acumulador ao apontador da base.

Ex.: `MOVC A, @A+DPTR` (código 99)

Capítulo 4

4.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados os aspectos da implementação da arquitetura de instrumentação inteligente proposta para a realização da medida do teor de clorofila em plantas, os resultados obtidos ao se implementar essa arquitetura e as principais conclusões, comentários e proposições decorrentes do desenvolvimento deste trabalho.

Será apresentada também uma descrição do funcionamento do sistema, bem como as tarefas e funções de cada uma das partes que integram o mesmo.

4.2 A Arquitetura Projetada para o Sistema de Medida do Teor de Clorofila em Plantas

Com o objetivo de se realizar a medida do teor de clorofila em plantas, propõe-se a implementação de um sistema cuja arquitetura é baseada em um módulo de aquisição de dados e um módulo sensor, cujo princípio básico de medida encontra-se ilustrado na figura 4.1. Uma fonte de luz monocromática com comprimento de onda λ próximo de um dos picos de absorção da clorofila é colocada de um lado da folha. De outro um fotosensor. A quantidade de luz absorvida pela folha será proporcional à quantidade de clorofila presente na mesma segundo a Lei de Lambert (Jeffery, G.H. et al., 1992), dada pela expressão 4.1

$$A = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (4.1)$$

Figura 4.1- Princípio de medida do teor de clorofila em folha pelo método de transmissão . A fonte de luz possui comprimento de onda próximo a um pico de absorção máximo da clorofila

O módulo de aquisição de dados é capaz de monitorar 16 leituras do teor de clorofila em pontos distintos de uma mesma folha. O número de leituras pode ser expandido ou reduzido em relação ao proposto neste projeto, para tanto serão necessárias adaptações no circuito e no programa. O módulo de aquisição de dados pode ser conectado a um

microcomputador IBM[®] - PC compatível para apresentação dos dados na forma de relatórios e gráficos .

O módulo sensor é composto por 16 conjuntos sensores dispostos de forma matricial em quatro linhas e quatro colunas .

A figura 4.2 ilustra o esquema da arquitetura inteligente projetada para a medida do teor de clorofila em plantas.

Figura 4.2 - Arquitetura Proposta para o Sistema de Medida do Teor de Clorofila em Plantas

4.2.1 Descrição do Módulo de Aquisição de Dados

O módulo de aquisição de dados é oriundo de um circuito cujo processador é o microcontrolador 80535. A figura 4.3 mostra o diagrama de blocos do módulo de aquisição de dados . A figura 4.4 apresenta o diagrama esquemático detalhado do circuito que é a base para implementação do mesmo.

4.2.1.1 Dispositivos de Memória

A) Memória de Programa (EPROM) : Utilizada para o armazenamento do programa que rege o funcionamento do sistema de aquisição. São empregados dois circuitos integrados de 32 *Kbytes* alcançando, desta forma, a capacidade máxima de endereçamento do microcontrolador 80535, que é de 64 *Kbytes*.

B) Memória de Dados (RAM) : Utilizada para a gravação de dados de aplicação do sistema, dados estes que posteriormente são transferidos para o microcomputador IBM® - PC compatível. Também são empregados dois circuitos integrados de 32 *Kbytes*, permitindo uma autonomia de medidas de campo satisfatória .

A figura 4.4 ilustra o circuito de conexão entre o 80535 e os dispositivos de memória do sistema.

Figura 4.3 - Diagrama de Blocos do Módulo de Aquisição de Dados

4.2.1.2 O Latch de Endereços

O circuito de acesso à memória utiliza um *latch* para captura do *byte* de baixa ordem do endereço de memória (programa ou dados), pois o 80535 utiliza a porta P0 tanto para saída de endereço (*byte* de baixa ordem) como para entrada/saída de dados. Este dispositivo é então utilizado para multiplexar no tempo o endereço estabelecido pelo microcontrolador com a entrada/saída de dados de leitura/escrita, respectivamente. O *latch* também está ilustrado na figura 4.4.

4.2.1.3 O Circuito de Interface Serial

Para a comunicação entre o módulo de aquisição de dados e o microcomputador foi utilizado um circuito integrado MAX232 que respeita as especificações EIA RS232-C. A interface serial entre o módulo hospedeiro e o microcomputador IBM® - PC compatível é mostrado na figura 4.5.

Figura 4.4 Diagrama Esquemático do Módulo de Aquisição

Figura 4.5 – Esquema de ligação da interface serial padrão EIA RS-232 C

4.2.1.4 O Display

O modelo utilizado é um *display* de cristal líquido de 16 caracteres x 2 linhas. O circuito de conexão entre o *display* e o módulo de aquisição de dados é mostrado na figura 4.6.

Figura 4.6 - Diagrama Esquemático para Ligação do Display de Cristal Líquido

4.2.1.5 O Teclado

O teclado utilizado é composto apenas por duas teclas, uma para seleção das opções do menu apresentadas no display e outra para confirmar a opção selecionada. A figura 4.7 mostra o esquema de ligação entre as teclas e o módulo.

Figura 4.7 -Diagrama Esquemático de Ligação das teclas

4.2.2. Descrição do Módulo Sensor

O módulo sensor é composto por dois módulos, um módulo emissor de luz e um módulo sensor de luz, montados em um cabeçote de leitura onde os mesmos encontram-se em planos paralelos e alinhados conforme figura 4.8.

Figura 4.8 Cabeçote de leitura

4.2.2.1 Módulo Emissor de luz

O módulo emissor de luz é composto por 32 diodos emissores de luz dispostos em uma matriz 4X8, sendo as linhas ímpares formadas por diodos que emitem luz no comprimento de onda do infravermelho e as pares por diodos que emitem luz no comprimento de onda do vermelho conforme mostrado na figura 4.9. Cada par de diodos como (I 1.1,V1.1), (I 1.2,V 1.2) formam um total de 16 conjuntos emissores. O acionamento de cada diodo é determinado pelo módulo de aquisição de dados através da porta P4 do microcontrolador. O endereçamento da linha e coluna correspondente à posição do LED é feita pelos circuitos integrados, 74LS373 composto por oito *flip flops* tipo D com saídas em estado de alta impedância e o 74LS138 um decodificador de três para oito linhas, esta informação é mantida pelos *flip flops* através de um sinal de controle fornecido pela porta P5.4, liberando a porta P4. A figura 4.10. mostra o circuito do modulo emissor de luz.

Figura 4.9 Desenho da disposição dos diodos emissores de luz no módulo emissor

Figura 4.10 Diagrama Esquemático do do Módulo Emissor

4.2.2.2 Módulo Sensor de Luz

O módulo sensor de luz é composto por 32 fotodiodos dispostos de forma que ao colocarmos um conjunto sobre o outro os emissores e sensores fiquem alinhados, conforme mostra a figura 4.11.

Os fotodiodos são polarizados reversamente. Desta forma a tensão medida no resistor de polarização é diretamente proporcional à corrente reversa, que por sua vez é proporcional à quantidade de luz incidente no dispositivo conforme a figura 4.12.

Esta tensão é aplicada à entrada do conversor analógico digital do microcontrolador através da circuito integrado CD 4051, um multiplexador de oito canais, cuja seleção é feita pela porta P4 do microcontrolador , conforme ilustra a figura 4.12.

Figura 4.11 Desenho do Posicionamento dos Sensores no Módulo Sensor

Figura 4.12 Diagrama Esquemático do Módulo Sensor

4.3 Alimentação

Os módulos são alimentados por uma bateria recarregável de 12 V com capacidade de fornecer 2,2 A / H de corrente, o que garante uma boa autonomia de campo para o equipamento.

Foi desenvolvido um circuito regulador de tensão empregando o regulador integrado 7805, conforme ilustra a figura 4.13 e também um carregador externo para a bateria, que é conectado ao equipamento através de um plugue, permitindo a carga da bateria sem a necessidade de remove-la da caixa. O circuito do carregador de bateria é mostrado na figura 4.14.

Figura 4.13 – Diagrama esquemático do circuito Regulador de Tensão

Figura 4.14 Diagrama esquemático do circuito carregador de bateria

4.4 O Funcionamento do Sistema

Foi desenvolvido um programa instalado no módulo de aquisição, a fim de gerenciar o módulo sensor e executar a medida do teor de clorofila. A interface com o operador é feita através de duas teclas de controle e um *display*.

4.4.1 Procedimentos de Operação

- a) Após o sistema ser energizado, o módulo de aquisição executa suas rotinas de inicialização e em seguida exibe no *display* um menu de opções para o operador;
- b) A partir deste instante o sistema passa a aguardar que uma das teclas de controle seja pressionada pelo operador .
- c) Em seguida o operador deve verificar se não há folha ou alguma sujeira no interior da janela do módulo sensor, fechar a abertura e acionar a tecla C (Confirma) a fim de confirmar a opção >LER CLOROFILA exibida no display, então, será exibida a opção CALIBRAR, a qual deverá ser confirmada através da tecla C(Confirma). O sistema está pronto para realizar a primeira leitura .
- d) O operador deve posicionar a folha no interior da janela do módulo sensor, fechar bem, confirmar a opção LEITURA e aguardar o retorno ao menu principal .
- e) O operador pode agora realizar outras leituras, realizar outra calibração e outras leituras, transferir os dados para um microcomputador IBM® - PC compatível, dependendo da opção selecionada .

4.4.2 Tarefas do Módulo de Aquisição

Os módulos de aquisição têm como principal tarefa a leitura dos níveis de tensão elétrica presentes em suas entradas analógicas, provenientes dos sensores de luz.

Esta tarefa compõe-se de etapas distintas:

- a) realização de um determinado número consecutivo de leituras de cada um dos sensores com a finalidade de minimização de erros;
- b) cálculo da média das séries de medições para cada um dos sensores;
- c) armazenamento destas médias identificadas de acordo com o seu respectivo sensor de origem. Este dados são armazenados em alocações pré-determinadas da memória RAM.

Deve-se fazer primeiramente a calibração do sistema, sem a presença de folha no interior da janela de leitura. A partir dos valores lidos é efetuada uma equalização a fim de se corrigir as eventuais diferenças devido à características dos LEDs e resistência dos circuitos de polarização.

c) Verificação do fechamento da janela . As leituras de calibração dos sensores infravermelhos são comparadas com as efetuadas com a presença de folha no interior da janela. Se o valor lido for maior que o da calibração, significa que a janela não está bem fechada permitindo a entrada de luz externa . O sistema então envia mensagem ao display para que o problema seja corrigido.

d) Cálculo do Teor de Clorofila para cada um dos pontos tomando como base as médias das leituras efetuadas nos sensores no comprimento de onda do vermelho de acordo com a equação 4.1 e armazenamento dos resultados em memória RAM .

e) Cálculo da média aritmética dos teores de clorofila de cada um dos pontos para cada leitura e armazenamento dos resultados em memória RAM.

e) Transferir os dados armazenados em memória RAM para um microcomputador IBM® - PC compatível .

4.5 Rotinas do Sistema

Nesta seção, serão apresentadas as rotinas desenvolvidas para os módulos de aquisição e para o módulo hospedeiro do sistema. As listagens dos códigos-fonte em Assembly do 80535 das rotinas desenvolvidas encontram-se no Apêndice B deste trabalho.

As rotinas foram divididas em grupos de acordo com as suas finalidades. Foram desenvolvidas as seguintes rotinas.

4.5.1. Rotina de Inicialização do Módulo de Aquisição

A rotina de inicialização do módulo foi implementada pelo algoritmo abaixo descrito:

Begin

Desabilita interrupções

Inicializa porta serial

Habilita contadores de 16 bits

Inicializa display

Vai para rotina de espera de acionamento de teclas

End.

4.5.2 Rotina de Acionamento de Teclas

Quando a tecla S (Seleciona) é pressionada, o sistema passa a exibir no display a próxima opção do menu. Se a tecla pressionada for a C (Confirma) o programa passa para a rotina que executa a função confirmada.

Begin

Loop espera tecla S acionada

Atualiza opção no display

Retorna **Loop** espera tecla S acionada

Se Não Vai Para

Loop espera tecla C acionada

Vai para Rotina confirmada

Se Não Vai para

Loop espera tecla S pressionada.

End

4.5.3 Rotina de Calibração

Quando a opção do operador for calibrar o equipamento a seguinte rotina é executada

Begin

Para N = 1 até 32

Aciona o LED N

Seleciona o Sensor N

Inicializa o conversor A/D

Faz 5 leituras

Calcula média dos valores

Escreve média para o sensor

Incrementa apontador de escrita

Envia mensagem de status da operação para o display

Próximo N

Fim Para

End

4.5.4 Rotina de Leitura

Quando a opção Leitura for confirmada pelo operador, o sistema fará novamente a rotina de varredura anterior, mas os resultados são escritos em posições distintas de memória.

Begin

Para N = 1 até 32

Aciona o LED N

Seleciona o Sensor N

Inicializa o conversor A/D

Faz 5 leituras

Calcula média dos valores

Escreve média para o sensor

Incrementa apontador de escrita

Envia mensagem de status da operação para o display

Próximo N

Fim Para

End

4.5.5 Rotina de transferência de dados para o canal serial

Ao selecionar a opção Transferir PC, o sistema passa a transferir os dados escritos na memória para o microcomputador no padrão ASCII.

Begin

Para N = 1 até valor do apontador de escrita na memória

Converte valor do dado da posição N para o padrão ASCII

Envia dado

Envia mensagem de Status da operação para o Display

Próximo N

Fim Para

End

4.6 Diagrama de Estado Resultante na Concepção Sistêmica do Medidor do Teor de Clorofila em Plantas

Após a inicialização do sistema como um todo, o módulo de aquisição entra em estado de espera. A partir de uma ação do operador é que o sistema passa a realizar alguma tarefa..

Ao receber uma confirmação para realizar alguma tarefa, o módulo de aquisição irá realiza-la e enviará ao operador uma mensagem de status ou o resultado da operação, através do display. O sistema envia os dados armazenados na memória para um microcomputador, através do canal de comunicação serial, é possível também enviar dados de um Receptor de GPS para o equipamento através do canal serial.. A figura 4.15 mostra o diagrama de estado do projeto .

4.7 Detalhamento de Arquivo de Dados Armazenado no Host IBM – PC® Compatível

A coleta dos dados de aquisição do módulo de aquisição de dados para o microcomputador IBM – PC® compatível é feita através do Windows Terminal®, ajustado com taxa de transmissão de 9600 bauds, 8 bits de dados, sem paridade, 1 bit de para e controle de fluxo Xon/Xoff.

4.8 Layout do Sistema

O “*layout*” do sistema é mostrado na figura 4.16 , na figura 4.17 temos uma visão do interior do equipamento e na figura 4.18 um detalhamento do cabeçote de leitura onde estão instalados os sensores.

4.9 Características de Bancada

As características de bancada do sistema são as seguintes:

Consumo de Corrente = 150mA

Área de medida = de 1 a 16 cm²

Maior valor de medida = 19 mg/g

Menor valor de medida = 0,25mg/g

Peso do conjunto (incluindo bateria)= 2,380Kg

Figura 4.15. – Diagrama de Estados do Medidor do teor de Clorofila em Plantas

Figura 4.16 Foto detalhando o painel do Equipamento

Figura 4.17 Foto detalhando o circuito do módulo de aquisição e a bateria

Figura 4. 18 Foto Detalhando o Cabeçote de Leitura onde estão instalados os Sensores.

Figura 4.19 Curva de Calibração do Medidor do Teor de Clorofila em Plantas Baseado em Arquitetura Microcontrolada X Medida Química

4.10 Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou o estabelecimento de conhecimentos em interfaces de sistemas, técnicas de programação e desenvolvimento de software e hardware para arquitetura inteligente baseada no microcontrolador 80535.

Dentre as principais conclusões destacam-se:

a) A opção por se interconectar módulo de aquisição de dados e módulo sensor permitiu a obtenção de um sistema versátil e flexível, pois a disposição dos sensores pode ser modificada em relação à proposta , alterando-se apenas o módulo de aquisição .

b) A disposição dos sensores no equipamento possibilita a análise do teor de clorofila levando-se em conta a variabilidade espacial na folha o que representa um diferencial em relação ao equipamento comercial atualmente disponível .

c) A curva de calibração apresentada na figura 4.19 ilustra a viabilidade do uso do equipamento projetado para medida do teor de clorofila.

d) A versatilidade do projeto implementado possibilita sua conexão a dispositivos GPS, através do canal de comunicação serial, com uso na agricultura de precisão.

e) De acordo com o projeto, o sistema possibilita que sejam realizadas até mil leituras antes que os dados sejam transferidos para o IBM® - PC Compatível. A definição da quantidade de aquisições possíveis entre duas coletas de dados para o IBM® - PC Compatível está intimamente ligada com a quantidade de memória RAM instalada, o número de leituras acima é para a capacidade máxima do sistema 64kBytes.

Apêndice 1

```

;*****
;          Jadis de Santis Junior
;          Mestrado em Engenharia Elétrica
;          Escola de Engenharia de São Carlos
;          Universidade de São Paulo
;          Orientador Prof. Dr. Paulo Estevao Cruvinel
;*****

;*****
;inicializacao
;*****

ajmp inicio
    db 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h
    db 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h
    db 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h 00h

    clr ri
    clr ti
    reti
    clr eal          ;desabilita todas as interrupcoes
    setb adcon.7     ;habilita o gerador de baud rate interno
    mov scon,#50h    ;ajusta a taxa a 9600
    mov pcon,#80h
    mov sp,#4fh
    clr a
    mov r0,a
    mov r1,a
    mov r2,a
    mov r3,a
    mov r4,a
    mov r5,a
    mov r6,a
    mov r7,a
    mov 20h,#00h
    mov tmod,#11h ;contadores de 16 bits
    mov tcon,#00 ; desliga bits de controle

;*****
;ajuste do display
;*****

    mov p1,#38h ; display 2 linhas 8 bits
    lcall comando ; escrita de instrucao
    mov p1,#0ch ; sem cursor
    lcall comando
    mov p1,#06h ; escreve deslocando cursor a direita
    lcall comando
    mov p1,#01h
    lcall comando

;-----
;transfere mensagens para display
;-----

```

```

        mov p1,#80h ; posiciona o cursor na 1 linha e 1 coluna
        lcall comando
        mov dptr,#mens1
        lcall display
        mov p1,#0c0h ; posiciona o cursor na 1 coluna e 2 linha
        lcall comando
        mov dptr,#mens2
        lcall display
        lcall dly2000
        mov p1,#0c0h
        lcall comando
        mov dptr,#mens8
        lcall display
        lcall desloca
        mov p1,#01h ; reseta display
        lcall comando
        mov dptr,#mens9
        lcall display
        lcall dly2000
        lcall desloca

```

```

;-----
;leitura das chaves de selecao
;-----

```

```

f25:    mov p1,#01h
        lcall comando
        mov dptr,#mens3
        lcall display
f13:    lcall ret2
        mov dptr,#mens4
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
f3:     jnb p5.0,f1
        jnb p5.1,f2
        sjmp f3
f2:     ljmp leitura_clorofila
f1:     lcall ret2
        mov dptr,#mens5
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
f6:     jnb p5.0,f4
        jnb p5.1,f5
        sjmp f6
f5:     ljmp media
f4:     lcall ret2
        mov dptr,#mens6
        clr p5.2

```



```

        lcall display
        lcall pressionada
f9:      jnb p5.0,f7
        jnb p5.1,f25
        sjmp f9
        ljmp
f7:      lcall ret2
        mov dptr,#mens7
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
f12:     jnb p5.0,f10
        jnb p5.1,f11
        sjmp f12
f11:     ljmp transfer_pc
f10:     ljmp f13

```

```

;-----
leitura_clorofila:

```

```

        lcall ret1
        mov dptr,#mens4
        lcall display
;-----

```

```

f21:     lcall ret2
        mov dptr,#mens10
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
        mov a,20h
        cjne a,#01h,f16
        sjmp f14
f16:     jnb p5.0,f14
        jnb p5.1,f15
        sjmp f16
f15:     ljmp calibrar
f14:     lcall ret2
        mov dptr,#mens18
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
f19:     jnb p5.0,f17
        jnb p5.1,f18
        sjmp f19
f18:     ljmp leitura
f17:     lcall ret2
        mov dptr,#mens12
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
f22:     jnb p5.0,f23
        jnb p5.1,f24

```

```

        ljmp f22

f23:    ljmp f21

f24:    ljmp f25

;-----
leitura:
        lcall ret1
        mov dptr,#mens11
        lcall display
le0:    lcall ret2
        mov dptr,#mens14
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
le3:    jnb p5.0,le1
        jnb p5.1,le2
        sjmp le3
le2:    ljmp le5
le1:    lcall ret2
        mov dptr,#mens12
        clr p5.2
        lcall display
        lcall pressionada
le6:    jnb p5.0,le4
        jnb p5.1,le7
        sjmp le6
le4:    ljmp le0
le7:    ljmp f25

;*****
le5:    mov p1,#01h
        lcall comando
        mov dptr,#mens15
        clr p5.2
        lcall display
        lcall ret2
        mov r2,#02h
        mov 14h,#0b2h
        mov 15h,#21h
        mov dptr,#tabela1
lg2:    clr a
        movc a,@a+dptr
        cjne a,#0ffh,lg1
        orl 20h,#02h
        mov p1,#01h
        lcall comando
        ljmp f25
lg1:    inc dptr
        djnz r2,lg3
        lcall barra
lg3:    mov p4,a

```

```

        lcall trava
        lcall sensor_adr

        lcall adc1

        lcall mediap
        lcall ram_ext
        ajmp lg2

ram_ext:
        push dph
        push dpl
        mov a,10h
        mov dph,14h
        mov dpl,15h
        movx @dptr,a
        inc 15h
        pop dpl
        pop dph
        ret

;*****

media:
        mov 0eh,#00h
        clr c
        mov a,0ch
        add a,0bh
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,0ah
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,09h
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,08h
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov 08h,#10h ;divisor
        mov r6,0eh
        mov r7,0fh
        clr a
        mov 10h,a
        mov 11h,a
        mov 12h,a

```



```

        mov 13h,a
        mov a,r7
desviol:

        subb a,08h
        inc 10h
        jnc desviol
        dec r6
        cjne r6,#0ffh,desviol
        ret

transfer_pc:

        clr p5.2
        lcall ret1
        mov dptr,#mens7
        lcall display
        lcall pressionada
tra7:    lcall ret2
        clr p5.2
        mov dptr,#mens16
        lcall display
        lcall pressionada
tra33:
        jnb p5.0,tra1
        jnb p5.1,tra2
        sjmp tra33
tra2:    ljmp transferir
tra1:    lcall ret2
        clr p5.2
        mov dptr,#mens12
        lcall display
        lcall pressionada
tra6:    jnb p5.0,tra4
        jnb p5.1,tra5
        sjmp tra6
tra4:    ljmp tra7
tra5:    ljmp f25

transferir:

        mov p1,#01
        lcall comando
        mov dptr,#mens17
        lcall display
        push 00h
        push 01h
        push acc
        mov r0,#04h
        mov r1,#21h ; media do sensor i11
trans1:

        mov a,@r1
        lcall hexascii
        mov a,#09h
        lcall envia
        djnz r0,trans4
        mov r0,#04h

```

```

        mov a,#0dh
        lcall envia
trans4:

        inc r1
        cjne r1,#41h,trans1
        push dph
        push dpl
        mov dph,#0b2h
        mov r1,#21h
        mov dpl,r1
        mov r0,#04h
        mov a,#0dh
        lcall envia
        lcall envia

trans3:

        movx a,@dptr
        lcall hexascii
        mov a,#09h
        lcall envia
        djnz r0,trans5
        mov r0,#04h
        mov a,#0dh
        lcall envia
trans5:

        inc r1
        cjne r1,#41h,trans2
        pop dpl
        pop dph
        pop acc
        pop 01h
        pop 00h
        mov 20h,#00h
        ljmp f25
trans2:

        mov dpl,r1
        ajmp trans3
        ljmp fim

pressionada:
        jnb p5.0,pressionada
        jnb p5.1,pressionada
        lcall dly120
        ret

;*****

calibrar:
        mov r2,#02h
        lcall ret1
        mov dptr,#mens13
        clr p5.2
        lcall display
        lcall ret2

```

```

        mov dptr,#mens8
        lcall display
        lcall ret2
        lcall conversao
        mov p1,#01h
        lcall comando
        ljmp leitura

;*****

conversao:
        mov r1,#21h
        mov dptr,#tabela1
g2:      clr a
        movc a,@a+dptr
        cjne a,#0ffh,g1
        ret
g1:      inc dptr
        djnz r2,g3
        lcall barra

g3:      mov p4,a
        lcall trava
        lcall sensor_adr

        lcall adc1
        lcall mediap
        lcall ram_int
        ajmp g2

barra:

        mov p1,#0ffh
        lcall dado
        mov r2,#02h
        ret

;*****
adc1:
        push adcon
        mov r0,#08h ; endereçamento indireto para subrotina media
        mov r4,a
        anl 04h,#0fh
        cjne r4,#08h,ad1
        mov r4,#0d0h
        ajmp ad4
ad1:     cjne r4,#04h,ad2
        mov r4,#0d1h
        ajmp ad4
ad2:     cjne r4,#02h,ad3
        mov r4,#0d2h

```



```

        ajmp ad4
ad3:    mov r4,#0d3h
ad4:    mov adcon,r4 ;indica a porta do conversor
        mov dapr,#80h ; inicia conversao
espera: jb adcon.4,espera
        mov @r0,addat
        inc r0
        cjne r0,#0dh,ad4
        pop adcon
        ret

```

```

;*****
mediap:

```

```

        mov 0eh,#00h
        clr c
        mov a,0ch
        add a,0bh
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,0ah
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,09h
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov a,0fh
        add a,08h
        mov 0fh,a
        mov a,0eh
        addc a,#0h
        mov 0eh,a
        mov 08h,#05h ;divisor
        mov r6,0eh
        mov r7,0fh
        clr a
        mov 10h,a
        mov 11h,a
        mov 12h,a
        mov 13h,a
        mov a,r7
desviol:
        subb a,08h
        inc 10h
        jnc desviol
        dec r6
        cjne r6,#0ffh,desviol

```

```

        ret

;*****
ram_int:
        mov @r1,10h
        inc r1
        ret

;*****

tabelal:
        db 18h 14h 12h 11h ;i11 a i14
        db 28h 24h 22h 21h ;i21 a i24
        db 48h 44h 42h 41h ;i31 a i34
        db 68h 64h 62h 61h ;i41 a i44

        db 08h 04h 02h 01h ;v11 a v14
        db 38h 34h 32h 31h ;v21 a v24
        db 58h 54h 52h 51h ;v31 a v34
        db 78h 74h 72h 71h ;v41 a v44
        db 0ffh

;*****

trava:
        setb p5.4
        clr p5.4
        lcall dlyx
        ret

display:
        mov r5,#08h
d1:      clr a
        movc a,@a+dptr
        inc dptr
        djnz r5,d3
        setb p5.2
d3:      cjne a,#0ffh,d2
        ret

d2:

        mov p1,a
        lcall dado
        sjmp d1

ret1:
        mov p1,#80h
        lcall comando
        ret

ret2:
        mov p1,#0c0h
        lcall comando
        ret

desloca:

```

```

        mov r7,#16
        mov p1,#80h
        lcall comando
        mov p1,#1ch
a1:     lcall comando
        lcall dly120
        djnz r7,a1
        ret

;-----
; sub-rot. de operacao logica (saida instr.)para display
;-----

comando:
        clr p3.4
        clr p3.5
        mov th1,#0c5h
        mov tl1,#67h
        setb tr1
e1:     jnb tf1,e1
        clr tr1
        clr tf1
        setb p3.5
        ret

;-----
; sub-rot. de operacao logica (saida dado)para display
;-----

dado:   setb p3.4
        clr p3.5
        mov th1,#0c5h
        mov tl1,#67h
        setb tr1
e2:     jnb tf1,e2
        clr tr1
        clr tf1
        setb p3.5
        ret

;*****
; rotina de atraso 120ms
;*****
dly120:
        mov r3,#2h
        mov th1,#2bh
        mov tl1,#86h
        setb tr1
b1:     jnb tf1,b1
        clr tf1
        djnz r3,b1
        clr tr1
        clr tf1
        ret

```

```

;*****
; rotina de atraso 2seg
;*****

dly2000:
    mov r3,#31
    mov th1,#7bh
    mov tl1,#0a6h
    setb tr1
c1:    jnb tf1,c1
        clr tf1
        djnz r3,c1
        clr tr1
        clr tf1
        ret

dlyx:
    mov r3,#1h
    mov th1,#2bh
    mov tl1,#86h
    setb tr1

bx1:
    jnb tf1,bx1
    clr tf1
    djnz r3,bx1
    clr tr1
    clr tf1
    ret

*****
;rotina de endereçamento dos sensores
;*****
sensor_adr:
    push acc
    anl a,#0f0h
    cjne a,#00h,sen1
    mov p4,#03h
sen1:  cjne a,#10h,sen2
    mov p4,#07h
sen2:  cjne a,#20h,sen3
    mov p4,#06h
sen3:  cjne a,#30h,sen4
    mov p4,#02h
sen4:  cjne a,#40h,sen5
    mov p4,#05h
sen5:  cjne a,#50h,sen6
    mov p4,#01h
sen6:  cjne a,#60h,sen7
    mov p4,#04h
sen7:  cjne a,#70h,sen8
    mov p4,#00h
sen8:  pop acc
        ret

```



```

;*****
; mensagens
;*****

mens1:  db ' cnpdia embrapa '
        db 0ffh
mens2:  db '      eesc usp   '
        db 0ffh
mens3:  db '      menu      '
        db 0ffh
mens4:  db '>ler clorofila  '
        db 0ffh
mens5:  db '>calcular media '
        db 0ffh
        db 0ffh
mens7:  db '>transferir_pc  '
        db 0ffh
mens8:  db '                '
        db 0ffh
mens9:  db ' inicializando '
        db 0ffh
mens10: db 'calibrar        '
        db 0ffh
mens11: db '>leitura         '
        db 0ffh
mens12: db 'cancela         '
        db 0ffh
mens13: db '   calibrando    '
        db 0ffh
mens14: db 'confirma         '
        db 0ffh
mens15: db '      lendo       '
        db 0ffh
mens16: db 'transferir        '
        db 0ffh
mens17: db '      aguarde        '
        db 0ffh
mens18: db 'ler                '
        db 0ffh


;*****
; rotina para converter um dado hexa para ascii
;*****

hexascii:

```

```
        clr c
        mov r7,a
        anl a,#0fh
        add a,#0f6h
        jnc menor
        add a,#7h
menor:   add a,#3ah
        xch a,r7
        clr c
        swap a
        anl a,#0fh
        add a,#0f6h
        jnc menor1
        add a,#7h
menor1:  add a,#3ah
        mov pl,a
        lcall envia
        mov a,r7
        mov pl,a
        lcall envia
        ret
fim:     sjmp fim
```

```
;*****
; rotina para transmissao de dados via serial
;*****
```

```
envia:   clr scon.1      ;reset no bit de controle do canal serial
tx(ti)   mov sbuf,a       ;envia a acc para o canal serial
esp:     jnb scon.1,esp    ;aguarda o final da transmissao
        ret
```

Apêndice 2

A. Série de Instruções do Microcontrolador 80535

A.1 Operações Aritméticas

Mnemônico		Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
ADD	A, Rn	Adiciona Registrador ao Acumulador	1	1
ADD	A, direto	Adiciona byte direto ao Acumulador	2	1
ADD	A, a Ri	Adiciona RAM indireta ao Acumulador	1	1
ADD	A, #dado	Adiciona dado imediato ao Acumulador	2	1
ADDC	A, Rn	Adiciona Registrador ao Acumulador com "Carry"	2	1
ADDC	A, direto	Adiciona byte direto ao Acumulador com "Carry"	2	1
ADDC	A, a Ri	Adiciona RAM indireta ao Acumulador com "Carry"	1	1
ADDC	A, #dado	Adiciona dado imediato ao Acumulador com "Carry"	2	1
SUBB	A, Rn	Subtrai Registrador do Acumulador com "Borrow"	1	1
SUBB	A, direto	Subtrai byte direto do Acumulador com "Borrow"	2	1
SUBB	A, a Ri	Subtrai RAM indireta do Acumulador com "Borrow"	1	1
SUBB	A, #dado	Subtrai dado imediato do Acumulador com "Borrow"	2	1
INC	A	Incrementa o Acumulador	1	1
INC	Rn	Incrementa Registrador	1	1
INC	direto	Incrementa byte direto	2	1
INC	@Ri	Incrementa RAM indireta	1	1
DEC	A	Decrementa o Acumulador	1	1
DEC	Rn	Decrementa Registrador	1	1
DEC	direto	Decrementa byte direto	2	1
DEC	@ Ri	Decrementa RAM indireta	1	1
INC	DPTR	Incremente Apontador de Dados	1	2
MUL	AB	Multiplica A e B	1	4

DIV	AB	Divide A por B	1	4
DA	A	Ajuste Decimal do Acumulador	1	1

A.2 Operações Lógicas

Mnemônico		Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
ANL	A, Rn	AND do Registrador para o Acumulador	1	1
ANL	A, direto	AND do byte direto para o Acumulador	2	1
ANL	A, @ Ri	AND de RAM indireta para o Acumulador	1	1
ANL	A, #dado	AND de dado imediato para o Acumulador	2	1
ANL	direto, A	AND do Acumulador para byte direto	2	1
ANL	direto, #dado	AND de dado imediato para byte direto	3	2
ORL	A, Rn	OR do Registrador para o Acumulador	1	1
ORL	A, direto	OR do byte direto para o Acumulador	2	1
ORL	A, @ Ri	OR de RAM indireta para o Acumulador	1	1
ORL	A, #dado	OR de dado imediato para o Acumulador	2	1
ORL	direto, A	OR do Acumulador para byte direto	2	1
ORL	direto, #dado	OR de dado imediato para byte direto	3	2
XRL	A, Rn	OR-Exclusivo do Registrador para o Acumulador	1	1
XRL	A, direto	OR-Exclusivo do byte direto para o Acumulador	2	1
XRL	A, @ Ri	OR-Exclusivo de RAM indireta para o Acumulador	1	1
XRL	A, #dado	OR-Exclusivo de dado imediato para o Acumulador	2	1
XRL	direto, A	OR-Exclusivo do Acumulador para byte direto	2	1
XRL	direto, #dado	OR-Exclusivo de dado imediato para byte direto	3	2
CRL	A	Zera o Acumulador	1	1
RL	A	Rotaciona o Acumulador para a Esquerda	1	1
RLC	A	Rotaciona o Acumulador para a Esquerda passando pelo "Carry"	1	1
RR	A	Rotaciona o Acumulador para a Direita	1	1
RRC	A	Rotaciona o Acumulador para a Direita	1	1

		passando pelo "Carry"		
SWAP	A	Troca "nibbles" no Acumulador	1	1

A.3 Transferência de Dados

Mnemônico		Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
MOV	A, Rn	Move Registrador para o Acumulador	1	1
MOV	A, direto	Move byte direto para o Acumulador	2	1
MOV	A, @ Ri	Move RAM indireta para o Acumulador	1	1
MOV	A, #dado	Move dado imediato para o Acumulador	2	1
MOV	Rn, A	Move Acumulador para Registrador	1	1
MOV	Rn, direto	Move byte direto para Registrador	2	2
MOV	Rn, #dado	Move dado imediato para Registrador	2	1
MOV	direto, A	Move Acumulador para byte direto	2	1
MOV	direto, Rn	Move Registrador para byte direto	2	2
MOV	direto, direto	Move byte direto para byte direto	3	2
MOV	direto, @ Ri	Move RAM indireta para byte direto	2	2
MOV	direto, #dado	Move dado imediato para byte direto	3	2
MOV	@ Ri, A	Move Acumulador para RAM indireta	1	1
MOV	@ Ri, direto	Move byte direto para RAM indireta	2	2
MOV	@ Ri, #dado	Move dado imediato para RAM indireta	2	1
MOV	DPTR, #dado16	Carrega Apontador de Dados com Constante de 16 bits	3	2
MOVC	A, @ A+DPTR	Move byte de Código relativo ao DPTR para o Acumulador	1	2
MOVC	A, @ A+PC	Move byte de Código relativo ao Contador de Progr. para o Acumulador	1	2
MOVX	A, @ Ri	Move RAM Externa (endereço de 8 bits) para o Acumulador	1	2
MOVX	A, @ DPTR	Move RAM Externa (endereço de 16bits) para o Acumulador	1	2
MOVX	@ Ri, A	Move o Acumulador para RAM Externa (endereço de 8 bits)	1	2

Mnemônico	Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
MOVX @ DPTR, A	Move o Acumulador para RAM Externa (endereço de 16 bits)	1	2
PUSH direto	Empurra byte direto para a pilha	2	2
POP direto	Traz byte direto da pilha	2	2
XCH A, Rn	Troca Registrador com Acumulador	1	1
XCH A, direto	Troca byte direto com Acumulador	2	1
XCH A, @ Ri	Troca RAM indireta com o Acumulador	1	1
XCHD A, @ Ri	Troca dígito de baixa ordem da RAM indireta com o Acumulador	1	1

A.4 Manipulação de Variáveis Booleanas

Mnemônico	Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
CLR C	Zera o "Carry"	1	1
CLR bit	Zera bit direto	2	1
SETB C	Coloca nível lógico "1" no "Carry"	1	1
SETB bit	Coloca nível lógico "1" em bit direto	2	1
CPL C	Complementa o "Carry"	1	1
CPL bit	Complementa bit direto	2	1
ANL C, bit	AND de bit direto para o "Carry"	2	2
ANL C, /bit	AND de complemento de bit direto para o "Carry"	2	2
ORL C, bit	OR de bit direto para o "Carry"	2	2
ORL C, /bit	OR de complemento de bit direto para o "Carry"	2	2
MOV C, bit	Move bit direto para o "Carry"	2	1
MOV bit, C	Move o "Carry" para bit direto	2	2
JC rel	Salta se "Carry" = 1	2	2
JNC rel	Salta se "Carry" = 0	2	2
JB bit, rel	Salta se bit direto = 1	3	2
JNB bit, rel	Salta se bit direto = 0	3	2
JBC bit, rel	Salta se bit direto = 1 e zera o bit	3	2

A.5 Instruções de Desvio de Programa

Mnemônico	Descrição	Byte	Duração em Ciclos de Máquina
ACALL end 11	Desvio Absoluto para Subrotina	2	2
LCALL end 16	Desvio Longo para Subrotina	3	2
RET	Retorno de Subrotina	1	2
RETI	Retorno de Interrupção	1	2
AJMP end 11	Salto Absoluto	2	2
LJMP end 16	Salto Longo	3	2
SJMP rel	Salto Curto (endereço relativo)	2	2
JMP @ A+DPTR	Salto Indireto relativo ao DPTR	1	2
JZ rel	Salta se Acumulador é zero	2	2
JNZ rel	Salta se Acumulador não é zero	2	2
CJNE A, direto, rel	Compara byte direto com Acumulador e salta se não for igual	3	2
CJNE A, #dado, rel	Compara dado imediato com Acumulador e salta se não for igual	3	2
CJNE Rn, #dado, rel	Compara dado imediato com Registrador e salta se não for igual	3	2
CJNE @ Ri, #dado, rel	Compara dado imediato com dado indireto e salta se não for igual	3	2
DJNZ Rn, rel	Decrementa Registrador e salta se não for zero	2	2
DJNZ direto, rel	Decrementa byte direto e salta se não for zero	3	2
NOP	Nenhuma operação	1	1

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

- ADVANCED MICRO DEVICES. (1988). **Microcontroller Handbook**. 901 Thompson Place. P.O . Box 3453. Sunnyvale - California
- AL-ABBAS, A . H. ; BARR, R. ; HALL, J.D. ; CRANE, F. L. ; BAUMAGADNER, M. F. (1974). **Spectra of Normal and Nutrient-Deficient Maize Leaves** - Agronomic. Journal. 66:16-20
- ATKINSON, J. K. (1987). **Communications Protocol in Instrumentation**. J. Phys. E.Sci. Instrumentation. 20:484-491
- BLACKMER T. M. ; SCHEPERS J. S.;. (1994). **Techniques for Monitoring Crop Nitrogen Status in Corn** . SOIL SCI PLANT ANAL..25(9&10),1791-1800
- BLACKMER, T. M. ; SCHEPERS, J. S. ; VARVEL, G. E. ; MEYER G. E. (1993). **Phhotographic Evaluation of Nitrogen Stress in Corn Canopies**. Nebraska Agricultural Research Division Journal. Privite Communication .
- BLACKMER, T. M. ; SCHEPERS, J. S. ; VARVEL, G. E. ; WALTER-SHEA, E. A .(1994). **Nitrogen Deficiency Detection of Reflected Shortwave Radiation from Irrigated Canopies** . Nebraska Agricultural Research Division Journal 10887
- BLITZKOW, D. (1995) NAVSTAR/GPS - Um desafio tornado realidade. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**, EPUSP, São Paulo, SP, p.429-462.
- CÂMARA, G., MEDEIROS, J. S.(1996).**Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador. Anais ... Salvador,. 126p.

-
- CRUVINEL, P. E. (1992). **Electronics as an important tool for modern agriculture and the experience of the nucleus of research and development of agricultural instrumentation.** CNPDIA,(EMBRAPA). In: II Escuela Latinoamericana de Física de Suelos, Bueno Aires, Argentina,.
- CRUVINEL, P.E.; CRESTANA S.; ARTAXO, P.; MARTINS, J. U; ARMELIN, M. J. A.: (1996). **Studying the spacial variability of Cr in agricultural field using both particle induced X-ray emission (PIXE) and instrumental neutron activation analysis (INAA) technique.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Amsterdam, v. 109/110, p. 247-251.
- CRUVINEL, P.E.; MINATEL, E. R. (1994) **Use of proton induced X-ray analysis and image processing for determination of trace-elements distribution in agricultural fields,** Systems Integration'94, IEEE Computer Society Press, v. 1, 371-376, August.
- CRUVINEL, P.E.; MINATEL, E. R.; MUCHERONI, M. L.; VIEIRA, S. R.; CRESTANA, S. (1996). **An automatic method based on image processing for measurements of drop size distribution from agricultural sprinklers:** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMP. GRAFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 9, Caxambu-MG, Anais ...Caxambu: SBC/UFMG, , p. 39-46.
- HAN, S; EVANS, R. G; SCHENEIDER, S, M; RAWLINS, S. L. (1996). **Spacial variability of soil properties on two center-pivot irrigated fields.** In: Third Internacional Conference on Precision Agriculture, 3, , Minnaopolis. **Proceedings of Third Internacional Conference on Precision Agriculture,** Madison. 97-106.
- HANEKLAUS, S.; SHOROEDER, D.; SCHNUG,E. (1996). **Strategies for fertilizer recommendations based om digital agro resource maps.** In: Third

Internacional Conference on Precision Agriculture, 3, , Minneapolis. Proceedings of Third Internacional Conference on Precision Agriculture, Madison, 361-368.

HESS, J. R.; HOSKINSON, R. L. (1996). **Methods for characterization and analysis of spacial and integrated farming systems**. In: Third Internacional Conference on Precision Agriculture, 3, Minnaopolis. Proceedings of Third Internacional Conference on Precision Agriculture, Madison, 642 - 650.

HILL , RAO , (1980). **Temas de Biologia - Fotossíntese** . EDUSP

HOWELL, S. K. ; HAMILTON, T. D. S. (1980). **Intelligent Instrumentation**. Meas. Sci. Technol. : 1: 1265-1273.

HWANG, H; PARK, B; NGUYEN, M; CHEN, Y. (1997). **Hybrid image processing for robust extraction of lean tissue on beef cut surfaces**: Computers and electronics in agriculture, v. 17, n. 3, p. 281-294,.

JACKSON, R. D. ; PINTER JR, P. J. (1986). **Spectral Response of Architecturally Different Wheat Canopies**. Remote Sens. Environment. 20 :43-56.

JEFFERY, G.H. et al (1992). **Vogel: Análise Química Quantitativa**. LTC Editora pg 522-527

KRÜGER, G.; SPRINGER, R.; LECHNER, W., (1994) **Global Navigation Satellite Systems (GNSS)**. Computers and Electronics in Agriculture, EUA, 11, p.3-21.

LOGSDON, T., (1992) **The NAVSTAR Global Positioning System**. Van Nostrand Reinhold, New York, EUA.

MARCHANT, J. A. (1996). **Tracking of row structure in three crops using image analysis**: Computers and electronics in agriculture, v. 30, n. 2, p. 161-179,.

-
- MASS, S. J. ; DUNLAP, J. R. (1989). **Reflectance, Transmittance , and Absorptance of Light by Normal, Etiolated and Albino Corn Leaves.** - Agronomic. Journal. 81:105-110
- MEDEIROS, S. L; SANTOS, C. DOS; ALVES, F. L. B. (1996).**Implantação de uma área teste para o Sistema de Informações Geográficas do município de Presidente Prudente.** Presidente Prudente: FCT/Unesp,. 92p
- MODENESE, S. H.; NATALE, W. (1997).**Sistema especialista para recomendação de adubação e calagem para a cultura da goiabeira.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, nov. 1996. Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDIÁ,.
- MONTGOMERY, E. G. (1913).**Experiments in wheat breeding: experimental error in the nursery and variation in nitrogen and yield.** U. S. Dept. Agric. Bur. Plant Indust. Bul. , Washington, 269,. 61p.
- NATALE, W.; MODENESE, S. H. (1996).**Software para recomendação da calagem e adubação da goiabeira: Congresso Brasileiro de Fruticultura,** 14, , Curitiba, PR. Resumos. Londrina: IAPAR, 1996.
- NIBLACK, W. (1986).**An Introduction to digital Image processing.**2ª edição, Prentice-Hall. ,.
- NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O.; JÜRSCHIK, P.; KÜHN, G.; HOPMANS, J. W (1997).. **Precision agriculture: challenges and opportunities of instrumentation and field measurements.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, nov.. Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDIÁ..

-
- PAZ, S.M.; CUGNASCA, C.E.; SARAIVA, A.M., (1996) **O Sistema de Posicionamento Global (GPS) e suas aplicações**. Palestra do 7o Congresso Nacional de Automação Industrial, São Paulo, SP.
- PENDLETON, R. L.(1919). **Are soils mapped under a given type name by the Buureau of Soils method closely similar to one another?** Agricultural Sciences, Davids, 3:369 - 498.
- PETERSON, T. A. ; BLACKMER, T. M. ; FRANCIS, D. D. ; SCHEPERS, J. S. (1993). **Using a Clorophyll Meter to Improve N Management** . Cooperative Extension,, University of Nebraska, Nebguide G93-117 -A.
- PLUCKNETT, D. L.; WINKELMANN, D. L. (1995).**Technology for sustainable agriculture**. Scientific American, p. 182-186,.
- RAVEN, P.H.; JOHNSON, G.B. (1996). **Biology**. Wm.C. Brown Publishers
- ROBINSON, G.W. & LLOYD, W.E. (1915)**On the probable error of sampling in soil surveys**. The Journal Agricultural Science, Cambridge, 7: 144-153,.
- SANTOS, C. DOS, ALVES, F. L. B., MEDEIROS S. L. (1996).**Implantação de uma área teste para o Sistema de Informações Geográficas do município de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/Unesp,.
- SCHEPERS, J. S. ; FRANCIS, D. D. ; VIGIL, M. F. ; BELOW, F. E. (1992) . **Comparisons of Corn Leaf Nitrogen Concentration and Clorophill Meter Readings** . Comm. Soil Plant Anal.23:2173-2187.

-
- SEARCY, S.W., (1995) **Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations**. Site-Specific Management for Agricultural Systems, ASA-CSSA-SSSA, Madison, EUA, p.603-612.
- SMITH, L.H. (1910). **Plot arrang for variety experiment with corn**. Proc. Amer. Soc. Agron. , Madison, V. I. 1907/09.. p. 84 - 89
- STAFFORD, J.V., AMBLER, B., (1994) **In-field location using GPS for spatially variable field operations**. Computers and Electronics in Agriculture, EUA, 11, p.23-36.
- SULTANUM, H. J., ISOGAI, C. M., SANCHES, M. G. Y, GUIMARÃES, R. G., (1997). **Metodologia para geração de uma carta de zoneamento ambiental para o parque Estadual do Morro do Diabo**. Presidente Prudente: FCT7 Unesp 120p
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. (1991). **Plant Physiology**. The Beijamin/Cummings Plubishing Company, Inc.
- THOMAZ, J. R. ; OERTHER, G. F. (1972). **Estimating Nitrogen Content of Sweet Pepper Leaves by Reflectance Measurements** - Agronomic. Journal. 64:11-13
- TILLET, R. D; ONYANGO, C. M; MARCHANT, J. A. (1997). **Using model-based image processing to track animal movements**: Computers and electronics in agriculture, v. 17, n. 2, p. 249-261.
- TORRE-NETO, A.; CRUVINEL, P. E.; INAMASU, R. Y.; CRESTANA, S (1997). **Tecnologias de ponta na agricultura: instrumentação e automação para a agricultura de precisão**. In: SERAPHIM, O.J., ed. Tecnologia e aplicação

racional de energia elétrica e de fontes renováveis na Agricultura. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande: UFPB, Cap.3, p.75-95.

TYNER, E.H. ; WEBB, J. W. (1946). **The Relation of Corn Yields to Nutrient Balance as Revealed by Leaf Analysis**. Journal of American Society of Agronomy 38:173-185

VAN RAIJ, B.(1981). **Avaliação da fertilidade do solo**, - Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa..

WAYNICK, D. D. (1918) **Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. I. Statistical study of nitrification in soils**. Agricultural Sciences, Davis, 3 (9): 243 - 270.