

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**RAFAEL DA ROLT D'AGOSTINI**

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS GEOPOSICIONADO  
APLICADO À MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE DO  
SOLO**

Porto Alegre  
(2005)

**RAFAEL DA ROLT D'AGOSTINI**

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS GEOPOSICIONADO  
APLICADO À MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE DO  
SOLO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Instrumentação Eletro-Eletrônica.

**ORIENTADOR: RENATO MACHADO DE BRITO**

Porto Alegre

(2005)

RAFAEL DA ROLT D'AGOSTINI

# **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS GEOPOSICIONADO APLICADO À MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE DO SOLO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Renato Machado de Brito, UFRGS

Doutor pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Yassushi Inamasu, EMBRAPA, São Carlos

Doutor pela USP – São Carlos – São Paulo, Brasil

Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein, UFRGS

Doutor pela Cranfield University - Cranfield, Grã-Bretanha

Prof. Dr. Altamiro Amadeu Susin, UFRGS

Doutor pela INPG – Grenoble, França

Prof. Dr. Adalberto Schuck Junior, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Coordenador do PPGEE: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira.

Porto Alegre, agosto de 2005

## RESUMO

Neste trabalho, a literatura (estado da arte) sobre Agricultura de Precisão é revisada. Um equipamento para a aquisição de dados foi desenvolvido, foi feita uma descrição detalhada do mesmo e são apresentados os testes de campo para sua validação.

**Palavras-chaves:** Agricultura de precisão. Aquisição de dados. Sistemas Geoposicionados. Instrumentação Agrícola.

## **ABSTRACT**

In this work, the literature (state of the art) about Precision Agriculture is reviewed. An equipment to acquire data was developed and a detailed description of it and the field tests to validate it is presented.

**Keywords: Precision Agriculture. Data Acquisition. Geopositioning Systems. Instrumentation in Agriculture.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos gerais e específicos</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Revisão de literatura</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>A Agricultura de Precisão</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Impacto da Agricultura de Precisão</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Benefícios para os produtores</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Benefícios para o meio ambiente</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Variabilidade espacial e temporal</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Mapeamento da variabilidade</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Gerenciamento de variabilidades</b>	<b>24</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Zona de gerenciamento</b>	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Sensores</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Sensores de produtividade</b>	<b>27</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Sensores de campo</b>	<b>27</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Sensores de solo</b>	<b>28</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Sensores de colheita</b>	<b>29</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Sensores de anomalias</b>	<b>29</b>
<b>2.6</b>	<b>Princípio de operação de sensores</b>	<b>30</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Sensores elétricos e eletromagnéticos</b>	<b>30</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Sensores ópticos e radiométricos</b>	<b>31</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Sensores mecânicos</b>	<b>31</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Sensores acústicos e pneumáticos</b>	<b>32</b>
<b>2.6.5</b>	<b>Sensores eletroquímicos</b>	<b>32</b>
<b>2.7</b>	<b>Controle</b>	<b>33</b>
<b>2.8</b>	<b>Sensoreamento remoto</b>	<b>35</b>
<b>2.9</b>	<b>Comunicação de dados entre sensores</b>	<b>35</b>
<b>2.10</b>	<b>Sistemas para uso agrícola com posicionamento global (GPS)</b>	<b>36</b>
<b>2.11</b>	<b>Sistemas existentes</b>	<b>40</b>
<b>2.11.1</b>	<b>GIS no campo</b>	<b>40</b>
<b>2.11.2</b>	<b>Aplicações mundiais</b>	<b>41</b>
<b>2.11.3</b>	<b>Aplicações no Brasil</b>	<b>42</b>
<b>2.12</b>	<b>Medição de resistência mecânica do solo</b>	<b>44</b>
<b>2.12.1</b>	<b>Pesquisas brasileiras na medição de resistência mecânica do solo</b>	<b>48</b>

2.12.2	Pesquisas no IEE-UFRGS	50
2.13	Situação atual e perspectivas para a Agricultura de Precisão	53
2.14	Integração de dados	55
3	Métodos e materiais	57
3.1	Microprocessador	58
3.2	GPS	59
3.3	Memória auxiliar	59
3.4	Memória de armazenagem e transferência de dados	60
3.5	Interface com o usuário	61
3.6	Transferência de dados	62
3.7	Entradas de sinais analógicas para extensômetros	64
3.8	Entradas de sinais analógicos padronizados (0-5V)	64
3.9	Entradas digitais	65
3.10	Conversor analógico-digital	65
3.11	Portabilidade	66
3.12	Integração entre os blocos do sistema	66
3.13	Fluxograma lógico de operação	68
4	Utilização do sistema desenvolvido na medição da resistência ao corte do solo	74
4.1	Ensaio preliminares	75
4.1.1	Testes e validação do receptor GPS	75
4.1.2	Ensaio da haste escarificadora instrumentada	83
4.1.3	Ensaio do profundímetro e da roda odométrica	85
4.2	Ensaio de campo	86
4.3	Análise de dados	95
5	Conclusão	97
5.1	Possíveis aplicações do equipamento	99
	Referências	101
	Apêndice A: Esquema elétrico do equipamento	104
	Apêndice B: Listagem do <i>Software</i>	107

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Barramento de comunicação para equipamentos agrícolas (extraída de <i>Precision farming – the environmental challenge</i> de Auernhammer (2001))	36
Figura 2: Sistema Proposto por Schueller	37
Figura 3: Sistema proposto por Moghavvemi et al.	38
Figura 4: Sistema utilizado por Sirjacobs	44
Figura 5: Exemplo de medidas realizadas por um penetrômetro portátil por Sirjacobs et al. em 2002	47
Figura 6: Penetrômetro desenvolvido por Santos	49
Figura 7: Sistema de aquisição de dados desenvolvido no IEE-UFRGS	51
Figura 8: Conjunto completo utilizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia – UFRGS	52
Figura 9: Roda odométrica e escarificador instrumentado	52
Figura 10: Equipamento desenvolvido	57
Figura 11: Leitor de cartões para computador pessoal	61
Figura 12: Sistema de transferência de dados	63
Figura 13: Conversor serial para USB	63
Figura 14: Diagrama em blocos do sistema implementado	67
Figura 15: Fluxograma lógico (Primeira parte)	70
Figura 16: Fluxograma lógico (Segunda parte)	71
Figura 17: Fluxograma lógico (Terceira parte)	72
Figura 18: Sistema utilizado no ensaio prático	74
Figura 19: Segmento de arco que representa a distância entre dois pontos	78
Figura 20: Vista ampliada do segmento de arco entre dois pontos com as diferenças de coordenadas	79
Figura 21: Triângulo obtido com a retificação dos arcos correspondentes às diferenças das coordenadas de dois pontos	80
Figura 22: Conversão de ângulo para distância	82
Figura 23: Curva de calibração do escarificador instrumentado	84
Figura 24: Profundímetro e roda odométrica	85
Figura 25: Dados de força versus tempo obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)	88
Figura 26: Dados de profundidade versus tempo obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)	88
Figura 27: Dados de força versus tempo obtidos no segundo ensaio (10 Hz)	90
Figura 28: Dados de profundidade versus tempo obtidos no segundo ensaio (10 Hz)	90
Figura 29: Comparativo entre taxas diferentes de aquisição	91
Figura 30: Mapa obtido nos ensaios	92
Figura 31: Momento em que os dados estavam sendo obtidos	94
Figura 32: Transferência de dados obtidos no ensaio para o computador hospedeiro	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exatidão requerida de sistemas GPS	39
Tabela 2: Primeira linha do protocolo NMEA 0183	76
Tabela 3: Medições realizadas no ponto “1”	77
Tabela 4: Medições realizadas no ponto “2”	77
Tabela 5: Tabela de ensaio do escarificador instrumentado	84
Tabela 6: Dados obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)	87
Tabela 7: Dados obtidos no segundo ensaio (10 Hz)	89
Tabela 8: Pontos onde foram realizadas as medidas que tiveram suas coordenadas registradas	92
Tabela 9: Comparativo entre deslocamento medido pela roda odométrica e diferença de posição do GPS no primeiro ensaio	93
Tabela 10: Comparativo entre deslocamento medido pela roda odométrica e diferença de posição do GPS no segundo ensaio	94

## LISTA DE ABREVIATURAS

A/D: (Conversor) Analógico-Digital

A.h: Ampere \* Hora

ASCII: Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações (*American Standard Code for Information Interchange*)

CAN: Protocolo de Comunicação (*Controlled Area Network*)

CD: *Compact Disc*

cm: Centímetro

DB9: Barramento de Dados (*Data Bus*); conector de nove pinos

DELET: Departamento de Engenharia Elétrica

DGPS: Sistema de Posicionamento Global Diferencial (*Differential Global Positioning System*)

EEA: Estação Experimental Agronômica

EEPROM: Memória Somente de Leitura Apagável Eletricamente (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)

ESALQ: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

FAT: Tabela de Alocação de Arquivos (*File Allocation Table*)

FM: Frequência Modulada

GIS: Sistemas de Informações Geográficas (*Geographic Information Systems*)

GPS: Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)

H<sup>+</sup>: Íon de Hidrogênio

Hz: Hertz

IEE: Laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica

ISE: Eletrodo Íon-Seletivo

ISEFET: Transistor de Efeito de Campo Íon-Seletivo

ISO: International Organization for Standardization

K<sup>+</sup>: Íon de Potássio

Kg: Quilograma

KHz: Quilohertz

Km.h<sup>-1</sup>: Quilômetro por hora

LBS: Protocolo de comunicação (*Landwirtschaftliches BUS-Systems*)

LCD: Visor de Cristal Líquido (*Liquid Crystal Display*)

MB: Megabytes

MHz: Megahertz

mm: Milímetro

nm: Nanômetro

NMEA: *National Marine Electronics Association*

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato

PH: Potencial Hidrogeniônico

PIC: Controlador de Interface Periférica (*Peripheral Interface Controller*)

PPGEE: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PWM: Pulso de Largura Modulada (*Pulse width modulation*)

RAM: Memória de Acesso Randômico (*Random Access Memory*)

RS: Padrão Recomendado (*Recommended Standard*)

S: Sul

SD: *Secure Digital*

SPI: Interface Periférica Serial (*Serial Peripheral Interface*)

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

URT: Tecnologia de Taxa Uniforme (*Uniform Rate Technology*)

um.m<sup>-1</sup>: Micrômetros por metro

USB: Barramento Serial Universal (*Universal Serial Bus*)

USP: Universidade de São Paulo

UTM: Projeção Universal Transversal de Mercator (*Universal Transverse Mercator*)

VRT: Tecnologia de Taxa Variável (*Variable Rate Technology*)

W: Oeste

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Stafford (2000), em 1983 Johnson et al. foram visionários. Eles disseram: “Máquinas utilizadas na produção agrícola serão automaticamente controladas para determinar práticas culturais, baseadas no solo, colheita e clima. Algumas informações sobre o solo e colheita podem ser medidas em tempo real e armazenadas em um computador a bordo do trator”.

Sistemas eletrônicos de aquisição de dados encontram aplicações em muitas áreas de conhecimento. Inicialmente estes sistemas eram utilizados por físicos experimentais em sofisticados laboratórios que estudavam as mais diversas correlações entre fenômenos físicos, analisando suas causas e efeitos. Com a evolução dos dispositivos capazes de converter qualquer grandeza física mensurável em um sinal elétrico, estes sistemas começaram a ser aplicados às mais diversas áreas de conhecimento. Hoje pode-se afirmar que é praticamente impossível avançar o conhecimento científico sem a utilização de sistemas automáticos de aquisição de dados. Eles estão presentes, por exemplo, na medicina, na engenharia, na exploração do espaço, na biologia e obviamente na agricultura.

Atuando em sintonia com vários grupos de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o Laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica (IEE) do Departamento de Engenharia Elétrica (DELET) tem entre suas linhas de pesquisa, uma dedicada a desenvolver sistemas de aquisição de dados aplicados à agricultura. Estes sistemas são portáteis e tem sido construídos com microcontroladores da família *Peripheral Interface Controller* (PIC) e outros (80196, 8051). Os equipamentos são utilizados para a análise da compactação do solo (Penetrômetro), na análise dos esforços desenvolvidos em hastes de corte e movimentação do solo para plantio direto (Projeto Trator) e para aquisição de dados relativos ao perfil de corte do solo (Perfilômetro), proposta ainda em desenvolvimento. Esta linha de pesquisa é realizada em colaboração com o Departamento de Solos da Faculdade de

Agronomia da UFRGS que se dispôs a especificar, testar e utilizar os equipamentos desenvolvidos, já tendo trabalhos de mestrado e doutorado de alunos dos seus programas realizados com o apoio destes sistemas de aquisição de dados.

Com a evolução das técnicas de plantio e colheita, da instrumentação hoje disponível e do conhecimento já alcançado, fala-se agora em “Agricultura de Precisão”. A expressão é abrangente e justifica uma revisão bibliográfica que busque as principais citações dos pesquisadores da área para uma melhor compreensão do contexto e localização do trabalho de pesquisa que se desenvolve.

Este é o primeiro trabalho de mestrado do grupo de Instrumentação do curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica realizado na linha de sistemas microcontrolados para aquisição de dados em aplicações agrícolas. A organização do trabalho será a seguir relatada.

Os objetivos gerais e específicos da dissertação estão descritos na seção 1.1.

A revisão bibliográfica está compilada no segundo capítulo.

No terceiro capítulo faz-se um detalhamento da implementação do equipamento projetado.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados de medidas reais efetuadas na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), utilizando o equipamento construído. Nesta aplicação o sistema foi configurado para conectar-se a sensores já existentes para a medição da resistência ao corte do solo.

No quinto capítulo são apresentados comentários sobre os resultados obtidos com as aquisições efetuadas. As medições são confrontadas entre si e com os dados da literatura para aplicações em condições semelhantes. Também é feita uma avaliação do custo deste equipamento e são sugeridas diferentes aplicações para o mesmo.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral foi desenvolver um sistema portátil para aquisição de dados em campo, que tivesse autonomia de operação, fosse portátil, robusto e de baixo custo, procurando atender as principais necessidades dos pesquisadores da área agrícola. Uma das características desejadas é que este sistema tivesse possibilidade de interconexão com os principais dispositivos sensores e atuadores utilizados em aplicações agrícolas.

Especificamente, buscou-se nesta dissertação o desenvolvimento de um sistema dotado de receptor *Global Positioning System* (GPS), com taxa de aquisição programável de até dez amostras por segundo para um conjunto mínimo de quatro sinais analógicos e dois digitais.

Outro objetivo específico foi o da utilização de um cartão de memória com grande capacidade para armazenamento de dados e possibilidade de remoção para leitura em outros sistemas computacionais.

Tais objetivos foram definidos tendo em conta os autores citados neste trabalho, como por exemplo, Zhang, Stafford, Neményi, Cox e Auernhammer, que afirmam ser o GPS um elemento importante para o georeferenciamento das áreas agrícolas e para o mapeamento da variabilidade de diversos parâmetros que interferem na produtividade do campo.

A utilização do equipamento desenvolvido será focada, neste trabalho, na medição da resistência ao corte do solo, tendo em conta a necessidade do seu mapeamento, quando se deseja considerar a variabilidade espacial que esta apresenta para o plantio. As aquisições necessárias nesta aplicação são semelhantes a diversas outras situações referidas na literatura, quando se descrevem sistemas de aquisição de dados destinados à Agricultura de Precisão. Mesmo que esta seja uma aplicação específica, procurou-se manter uma conduta mais

generalista nos conceitos de projeto do equipamento desenvolvido para que o mesmo possa suportar diversas outras aplicações demandadas para a prática da Agricultura de Precisão.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Visando um melhor entendimento do que trata o assunto Agricultura de Precisão, é apresentada neste capítulo uma revisão bibliográfica baseada no trabalho *Precision agriculture – a worldwide overview* de Naiqian Zhang, Maohua Wang e Ning Wang, onde estão compilados de forma organizada os principais trabalhos de interesse para o tema desta dissertação. Sempre que necessário será buscada a referência original compilada por Zhang et al. no ano de 2002, bem como serão referidas publicações dos últimos quatro anos daqueles assuntos especificamente relacionados com a dissertação.

### **2.1 A AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Várias são as tentativas de definição e conceitos relativos à Agricultura de Precisão. Em 2003, Neményi et al. disseram que: “A Agricultura de Precisão é o caminho que considera a variabilidade do campo, levando-a em conta na aplicação de sementes, nutrientes e na pulverização de defensivos em cada parte de cada campo”.

Mais recentemente, houve um consenso sobre o tema, apresentando-se a Agricultura de Precisão como “um conjunto de ações de gestão do sistema de produção que consideram a variabilidade espacial das lavouras”. A partir da premissa de que a produção nessas lavouras não é uniforme no espaço e no tempo e de que o substrato de produção, representado pelo solo, também tem elevada variabilidade espacial é necessário considerar como fundamental o gerenciamento que incorpore esses fatores, visando a otimização do sistema.

Quando hoje se faz referência a Agricultura de Precisão, tem-se em conta o avanço tecnológico que permite avaliar a variabilidade de parâmetros envolvidos na produção agrícola e referi-los geograficamente, visando inicialmente um mapeamento da área quanto a cada uma destas variáveis, como fertilidade, umidade, compactação do solo, entre outras. O

que se busca após o mapeamento é naturalmente atuar seletivamente ao longo da lavoura para corrigir as diferenças encontradas, de modo a maximizar a produção e diminuir os custos.

Assim, os sistemas de produção agrícola têm sido adaptados com a incorporação de avanços tecnológicos desenvolvidos primeiramente para outras aplicações. A revolução industrial trouxe a mecanização e fertilizantes sintéticos para a agricultura. A revolução tecnológica propôs a engenharia genética e a automação. Finalmente a revolução da informação tem trazido o potencial para integrar os avanços tecnológicos à agricultura.

### **2.1.1 IMPACTO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Os impactos das tecnologias da Agricultura de Precisão na produção agrícola são esperados em duas áreas: benefícios para os produtores e benefícios ambientais para a ecologia.

Stafford já em 2000 afirmava: - A Agricultura de Precisão é a forma correta de nortear produtores no correto manejo do solo e das culturas. A aplicação de insumos é otimizada oferecendo aos cultivares condições ideais (ou mais próximas possíveis) de desenvolvimento. Além disso, há uma redução de custos e impacto ambiental. Entretanto existem algumas barreiras a serem transpostas, como, por exemplo, integrar os dados fornecidos e requeridos por cada implemento utilizado, definir os procedimentos e estratégias racionais para determinar a correta aplicação de insumos em cada ponto. Também se faz necessário o desenvolvimento de sensores para que as grandezas de interesse possam ser coletadas em tempo real e para que a Agricultura de Precisão possa então ser amplamente praticada.

- A legislação ambiental, buscando a minimização e otimização na aplicação de insumos e pressões do mercado para a possibilidade de rastreamento e auditoria, irá forçar os produtores a considerar seriamente a Agricultura de Precisão como solução.

### 2.1.2 BENEFÍCIOS PARA OS PRODUTORES

A Agricultura de Precisão permite um ajuste fino na sintonia da produção agrícola. As tecnologias da Agricultura de Precisão fornecem aos produtores rurais a oportunidade de mudar a distribuição e a temporização da aplicação de fertilizantes e outros defensivos agrícolas baseados na variabilidade espacial e temporal no campo. Os produtores podem fazer análises econômicas, baseados na variabilidade da colheita para obter uma estimativa precisa do risco. Um produtor pode calcular o lucro obtido na sua produção por hectare, com base no gasto com insumos e a produtividade de seu campo. Certas áreas no campo, que sempre produzem abaixo da linha de lucro podem ser isoladas e, para estas áreas, ser elaborado um plano de gerenciamento (Goddard, 1997).

As vantagens econômicas resultantes da Agricultura de Precisão continuam sendo mensuradas. Segundo Zhang et al (2002), em 2000, Griffin et al. compararam a aplicação de insumos com taxa variável, conhecida como *Variable Rate Technology* (VRT), com a aplicação de insumos com taxa uniforme, conhecida como *Uniform Rate Technology* (URT), para a aplicação de fósforo no arroz e na soja no Arkansas, nos Estados Unidos da América. A utilização da VTR é altamente sensível, no aspecto econômico, para a aplicação de fósforo no solo. Concluiu-se porém que não é aconselhável substituir a taxa constante (UTR) por taxa variável (VTR), quando se tem em vista um tempo de retorno para o investimento menor que 10 anos, pois o aumento da produção na colheita não cobre o custo dos equipamentos destinados a VTR, embora uma área cultivada, quando adaptada com a tecnologia de taxa variável (VTR), possa prover uma melhora potencial na produtividade e redução de riscos nas atividades rurais.

Atualmente, a Agricultura de Precisão está sendo utilizada na aplicação de fertilizantes com vantagens pequenas relativas a custos. A Agricultura de Precisão ganhará importância somente quando oferecer vantagens adicionais, como redução dos excessos de produtos químicos no meio ambiente e aumento na qualidade e na produtividade (Auernhammer, 2001).

Pode-se concluir que a redução dos custos dos equipamentos destinados à VTR pode viabilizar um retorno de lucros em menor prazo.

### **2.1.3 BENEFÍCIOS PARA O MEIO AMBIENTE**

Uma rígida legislação ambiental tem sido apresentada em países como Estados Unidos da América, Austrália, Reino Unido, Dinamarca, Alemanha e até mesmo no Brasil. Num futuro próximo, tudo indica que a União Européia estabelecerá diretivas que obrigarão fazendeiros dos países membros a reduzir significativamente a aplicação de agrotóxicos. Espera-se que com a aplicação precisa em quantidade e localização de fertilizantes e defensivos, com o registro do tratamento em todo o campo em escala métrica e com a correlação das informações registradas na aplicação dos insumos em cada ponto do campo aos produtos colhidos, poderão ser alcançados os limites para a aplicação de agrotóxicos previstos na legislação (Stafford, 2000).

Um estudo feito em dois campos adjacentes, um tratado com taxa constante (URT), para o fertilizante nitrogênio e outro com taxa variável (VTR), demonstrou que a taxa variável (VTR) reduziu a contaminação da água subterrânea. Com a disponibilidade de dados sobre a topografia do campo, obtidos com as tecnologias da Agricultura de Precisão, a interação entre a terra lavrada e a erosão do solo pode ser examinada e desta forma, uma redução na erosão pode ser alcançada.

A Agricultura de Precisão tem se desenvolvido em pesquisas pelo mundo todo, o que se busca com esta nova tecnologia é um decréscimo na quantidade de fertilizantes requeridos para uma mesma produtividade ou em alguns casos, um incremento na produtividade do campo com redução de insumos aplicados (Auernhammer, 2001).

## **2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL**

A variabilidade espacial e a variabilidade temporal dos parâmetros do solo e fatores relativos à colheita no campo têm sido avaliadas por séculos. Antes da mecanização agrícola, o tamanho reduzido das áreas cultivadas permitiu aos produtores variar manualmente o tratamento do solo. Entretanto, com o aumento do tamanho destas áreas e com a mecanização intensiva, tornou-se cada vez mais difícil estimar a variação dos parâmetros do campo sem um desenvolvimento revolucionário de tecnologias. Com o desenvolvimento de sistemas que possam fornecer dados com uma fina resolução espacial e que sejam capazes de adquirir e tratar estes dados, se pode fazer um mapeamento de quase tudo o que interessa (Stafford, 2000).

O mapeamento da produtividade em colheitadeiras é o “estado da arte” na Agricultura de Precisão dizia Auernhammer em 2001.

Segundo Zhang et al. (2002) e Auernhammer (2001), as variáveis que tem influência significativa na produção agrícola podem ser divididas em seis grupos:

- **Variabilidade da produção**

A variabilidade da produção é a análise e registro da distribuição histórica e presente da produtividade ao longo do tempo em uma determinada área produtiva.

- **Variabilidade da área produtiva**

A variabilidade da área produtiva avalia a topografia, o relevo, a declividade, a presença ou não de rios, córregos entre outros fatores que dizem respeito ao campo.

- **Variabilidade do solo**

A variabilidade do solo avalia a fertilidade do solo, ou seja, a quantidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono, ferro, manganês, zinco e cobre, avaliando também a fertilidade do solo provida pela adubação.

Propriedades físicas do solo, como a sua estrutura, densidade, resistência mecânica, umidade, condutividade elétrica, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica; e propriedades químicas do solo como o Potencial Hidrogeniônico (PH), matéria orgânica e salinidade também são avaliadas.

- **Variabilidade da colheita**

Na variabilidade da colheita são avaliadas a taxa de alimentação, altura de corte, densidade da colheita, a altura da colheita, produção e sua relação com a deficiência de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono, ferro, manganês, zinco e cobre, carência de água e problemas com características biológicas e físicas do solo.

- **Variabilidade de fatores atípicos**

A variabilidade de fatores atípicos avalia a infestação por ervas daninhas, a infestação por insetos, a infestação por parasitas a infestação por doenças e danos provocados pelo vento ou por outros fenômenos naturais atípicos, como a seca ou o excesso de chuvas.

### **2.3 MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE**

Quando um GPS em conjunto com um sistema de aquisição de dados (*Data Logger*) é utilizado para gravar a posição de cada amostra ou medida, podem ser gerados mapas demonstrativos da variabilidade do campo (Adamchuk et al., 2004).

Entre as variabilidades citadas na seção 2.2, a variabilidade da colheita é freqüentemente considerada a variável dependente, enquanto que a maioria das outras variáveis é tratada como variável independente. A variável independente estudada mais extensivamente tem sido o nível de nitrogênio fertilizante no solo. Na realidade, a maioria das tecnologias com taxa variável (VTR) de aplicações químicas têm sido desenvolvidas em aplicadores de nitrogênio fertilizante.

Na natureza, diversos tipos de variabilidade são tanto espaciais como temporais. A infestação por ervas daninhas é um exemplo. Modelos espaciais de distribuição de ervas daninhas podem mudar durante a estação de cultivo. A variabilidade em parâmetros climáticos é na maioria das vezes temporal por natureza. Entretanto, um monitoramento intensivo nos campos é importante para ajudar na decisão de aplicação de fertilizantes.

Com as tecnologias disponíveis de sistemas GPS, sensoriamento remoto, monitoramento da produção e amostragem do solo, a aproximação baseada em mapas é geralmente fácil de implementar. Esta aproximação requer os seguintes procedimentos: gerar

um mapa com coordenadas do solo, fazer amostras do solo em posições pré-definidas, fazer análises laboratoriais das amostras do solo, gerar um mapa com as condições do solo e finalmente usar este mapa para controlar um aplicador de taxa variável.

## **2.4 GERENCIAMENTO DE VARIABILIDADES**

As práticas agrícolas, como escolha de cereais híbridos, taxa de semeadura, rotação de culturas, aplicação de fertilizantes, aplicações de pesticidas e irrigação são formas de gerenciar o manejo do solo.

O gerenciamento da variabilidade pode ser alcançado por dois métodos: um método baseado no mapeamento das características do solo e outro em sensores a bordo de um veículo agrícola. O mapeamento baseado em sensores mensura as propriedades desejadas do solo em tempo real e controla os aplicadores de taxa variável, com base nas medidas efetuadas e em equações matemáticas definidas previamente. Para sistemas baseados em sensores que operam em tempo real, um sistema de posicionamento não é obrigatório.

A grande parte dos sistemas experimentais para o gerenciamento é feita usando-se mapas, pois uma grande parte dos sensores para monitorar a variabilidade do campo e do solo em tempo real é ainda muito dispendiosa. Para algumas medidas desejáveis se tem ainda incerteza elevada ou nem mesmo os sensores estão disponíveis comercialmente.

Já é possível, no entanto, armazenar um mapa na memória de um sistema de controle e através de georeferenciamento controlar os aplicadores. Assim, a aquisição de dados e o controle dos insumos não são efetuados ao mesmo tempo.

### 2.4.1 ZONA DE GERENCIAMENTO

A aplicação de insumos agrícolas pode ser implementada dividindo o campo em pequenas zonas de gerenciamento, sendo estas zonas de características homogêneas em propriedades de interesse. Uma zona de gerenciamento é definida como “uma porção de campo que expressa uma combinação homogênea de fatores para os quais uma taxa única de insumos é apropriada”.

Uma zona de gerenciamento pode ser delineada também por mais de um insumo. Neste caso, uma taxa única é aplicada para cada um dos insumos. O número de zonas de gerenciamento distintas em um campo é função da variabilidade natural, do tamanho do campo e de fatores de gerenciamento como a variabilidade de nutrientes e presença de ervas daninhas.

Os conceitos de zonas de gerenciamento podem ser vistos como uma adaptação dos conceitos da Agricultura de Precisão.

Com o advento do GPS, os produtores rurais adquiriram o potencial de considerar a variabilidade espacial, pois o mesmo fornece as coordenadas geográficas, essenciais ao georeferenciamento. Apesar de tudo, ainda é necessário o desenvolvimento de tecnologia, particularmente na área de sensores e sistemas de mapeamento, para prover uma relação espacial aos dados mensurados no campo. A Agricultura de Precisão não pode ser realizada sem grandes avanços de trabalho em redes e processamento de dados (Stafford, 2000).

Tradicionalmente, os produtores têm aplicado fertilizantes, produtos químicos e outros produtos uniformemente em todo o campo, resultando em aplicações demasiadas em algumas áreas e deficientes em outras, devido às não uniformidades que ocorrem no campo, afetando a eficiência e a quantidade de insumos aplicados, aplicações a taxa constante podem aumentar a

poluição ambiental devido ao excesso de aplicação em áreas que requerem uma menor quantidade de insumos (Chen et al., 2004).

O sensoriamento remoto pode fornecer alguns dados relativos a variabilidade espacial, auxiliando no gerenciamento do campo a um baixo custo. Entretanto, existe a necessidade de métodos terrestres para a medição da variabilidade, que não podem ser medidos remotamente, pois forneceriam dados com baixa resolução (Tyndale-Biscoe et al., 1998).

## 2.5 SENSORES

Enquanto Engenheiros Agrônomos estão em busca da direção a ser seguida no desenvolvimento da agricultura, outros ramos da engenharia têm trabalhado solicitamente para fornecer a tecnologia necessária para implementar a Agricultura de Precisão. Inovações em engenharia para a Agricultura de Precisão envolvem o desenvolvimento de sensores, controladores e tecnologias de sensoriamento remoto.

Para implementar as diversas tecnologias em Agricultura de Precisão, os sensores devem ser robustos, de baixo custo, e preferencialmente, sensores que respondam em tempo real. Alguns destes sensores já estão disponíveis comercialmente. Outros estão ainda em desenvolvimento.

A seguir serão brevemente descritos os sensores citados na bibliografia consultada. Nas seções 2.6.1 a 2.6.5 será descrito o princípio de operação de sensores utilizados na Agricultura de Precisão conforme o trabalho “*On-the-go soil sensors for precision agriculture*”, publicado por Adamchuk et al. em 2004.

### **2.5.1 SENSORES DE PRODUTIVIDADE**

A produção de grãos é mensurada usando alguns tipos de sensores de colheita, como por exemplo, sensores baseados no peso do produto colhido ou em sensores ópticos que medem volume, área ou características espectrais do produto colhido. A grande maioria das empresas que produzem implementos agrícolas fornece, opcionalmente, sistemas de mapeamento da colheita. Técnicas de medição da produtividade para a grande parte dos grãos estão se aproximando da maturidade. Para colheitas de forragens, monitores de colheita usam um sensor de deslocamento e uma célula de carga. Um sensor óptico medindo a radiação espectral próxima a banda infravermelha foi usado para estimar a colheita e para guiar a aplicação à taxa variável (VTR) para o fertilizante nitrogênio.

Um sistema automático, simples e de baixo custo foi desenvolvido para gerar mapas de produtividade para grãos colhidos manualmente. Um sistema sensor equipado com células de carga, transdutor angular em conjunto com um sistema GPS diferencial (DGPS) foi desenvolvido para coletar dados da variabilidade espacial da colheita de tomate em tempo real (Pelletier e Upadhyaya, 1999).

### **2.5.2 SENSORES DE CAMPO**

Sensores comerciais recebendo e processando sinais de sistemas GPS têm se tornado disponíveis para a maioria dos produtores rurais em países desenvolvidos. Alguns receptores portáteis GPS fornecem a posição com incerteza de aproximadamente cem metros. Sistemas DGPS já reduzem a incerteza para aproximadamente dois metros. Sistemas GPS com posicionamento relativo podem reduzir a incerteza para um nível sub-centimétrico.

Yule et al. (1999) desenvolveram um sistema de aquisição de dados para monitorar a performance no campo de um trator agrícola. Parâmetros de performance mapeados durante a operação no campo foram utilizados para analisar a variabilidade da topologia do campo, tipo de solo, umidade do solo e para identificar áreas que necessitam de ações corretivas.

### **2.5.3 SENSORES DE SOLO**

Um sensor de solo, operando em uma banda próxima a infravermelha, mediu a refletância espectral do solo com uma largura de banda de 1600 até 2600 nanômetros (nm) para prever a matéria orgânica e umidade da superfície e do subsolo (Hummel et al., 2001). Um espectrofotômetro mediu a refletância espectral do solo na faixa do visível e na faixa próxima a banda infravermelha. Testes de campo demonstraram uma relação linear entre a refletância em certas faixas de frequência do espectro e diversas propriedades do solo, incluindo matéria orgânica e umidade.

Um sensor de condutividade elétrica do solo, baseado em um método denominado de método de quatro eletrodos, mostrou-se efetivo na detecção de diversos fatores determinantes em solos não salinos. Na França, um sensor composto de oito eletrodos rotativos foi desenvolvido para medir a condutividade elétrica do solo em três profundidades. Com um sistema combinado composto por um medidor de condutividade elétrica e um penetrômetro automático, as características do subsolo podem ser mapeadas. Um sistema sensor de condutividade elétrica do solo usando o princípio da indução eletromagnética é um método de sensoriamento sem contato. A condutividade elétrica medida usando este sensor encontrou uma boa correlação com o índice de produtividade do solo, que combina efeitos da densidade do substrato, capacidade de absorção de água, sal e PH. A resistividade elétrica medida antes do plantio pode ser relacionada com a capacidade de água disponível para a planta.

Segundo Zhang et al. (2002), em 1999, Hummel utilizou um penetrômetro equipado com um sensor óptico operando na banda próxima a infravermelha e mediu a resistência de penetração bem como a umidade e matéria orgânica. Um penetrômetro combinado com um sensor de condutividade elétrica pode ser usado para medir características do subsolo.

#### **2.5.4 SENSORES DE COLHEITA**

Ainda segundo Zhang et al. (2002), em 2000, Sudduth et al. projetaram um sensor eletromecânico para contar pés de milho; e Searcy e Beck em 2000 mediram a altura de plantas de algodão, utilizando dedos mecânicos e raios de luz infravermelha. Sensores para medir a proteína e o óleo dos grãos estão em desenvolvimento.

#### **2.5.5 SENSORES DE ANOMALIAS**

Diversos sensores de ervas daninhas estão disponíveis comercialmente. Entre trabalhos nesta área pode-se citar a pesquisa de Tian et al. no desenvolvimento de um sistema inteligente de sensoriamento e pulverização para identificar zonas de infestação de ervas daninhas, em 1999. Em 1998, Feyaerts et al. projetaram um sensor de ervas daninhas usando um espectrógrafo de imagem. Em 2001, Wang et al. desenvolveram um sensor óptico baseados num estudo de características espectrais de ervas daninhas, colheita e solo. Em 2000, um sensor infravermelho foi desenvolvido por Michels et al. para medir a variação na temperatura de plantas causada pela infestação de insetos.

## 2.6 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DE SENSORES

Segundo Adamchuk et al. (2004), existe uma grande variedade de sensores de solo descritos na literatura envolvendo os seguintes métodos de medida:

- sensores elétricos e magnéticos medem a resistividade elétrica, capacitância ou indutância do solo;
- sensores ópticos e radiométricos, utilizando ondas eletromagnéticas medem o nível de energia absorvida ou refletida por partículas do solo;
- sensores mecânicos medem a força de implementos agrícolas interagindo com o solo;
- sensores eletroquímicos utilizando membranas seletivas de íons, que produzem uma tensão elétrica em resposta a presença de íons hidrogênio ( $H^+$ ), íons potássio ( $K^+$ ) entre outros;
- sensores sonoros que quantificam o ruído produzido por um implemento interagindo com o solo;
- sensores pneumáticos que medem a capacidade do solo receber injeção de ar (vide 2.6.4).

### 2.6.1 SENSORES ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS

Diversos sistemas de medição são baseados em circuitos elétricos e usados para determinar a capacidade de certos meios de conduzir ou acumular cargas elétricas. Se o solo é usado como meio, suas características físicas e químicas podem afetar o comportamento do circuito, e deste modo, os parâmetros elétricos são medidos. Respostas rápidas, custo relativamente baixo e durabilidade alta, tem tornado os sensores elétricos e eletromagnéticos uma das técnicas mais utilizadas para o mapeamento do solo em movimento. Os mapas

obtidos com a utilização de GPS, Sistemas de Informações Geográficas (GIS) e sensores estão correlacionando a posição com a textura do solo, a salinidade, a matéria orgânica, a umidade e outros atributos do solo.

### **2.6.2 SENSORES ÓPTICOS E RADIOMÉTRICOS**

Medidas de refletância, absorção e transmitância característica do material fornecem uma técnica rápida e não destrutiva de avaliar as propriedades do solo. A determinação da quantidade de energia refletida pela superfície do solo em uma faixa espectral particular é muito popular na agricultura. Semelhantemente a sensores elétricos e eletromagnéticos, as medidas ópticas e radiométricas são freqüentemente afetadas por uma combinação de atributos do solo. Entretanto, a resposta em diferentes faixas espectrais pode ser afetada por várias propriedades do solo em diferentes escalas, o que permite uma oportunidade de separar diversos efeitos obtidos com a resposta de um sensor. Umidade, matéria orgânica, tamanho de partículas, óxido de ferro, composição mineral, sais solúveis e outros atributos que afetam a refletância do solo.

### **2.6.3 SENSORES MECÂNICOS**

Sensores elétricos, eletromagnéticos, ópticos e sensores radiométricos fornecem a capacidade de avaliar a variabilidade da composição física do solo, quando transitam através do campo. Entretanto, uma característica mecânica do solo, como sua resistência mecânica, pode fornecer informações adicionais úteis sobre as condições do solo, como por exemplo a sua compactação. Regiões com alta resistência mecânica no solo podem ocorrer naturalmente. Em muitas regiões isto é causado pela compactação de pesadas máquinas agrícolas.

Solos compactados reduzem a taxa de desenvolvimento da produção de raízes e limitam a disponibilidade de água e nutrientes para a planta (Trein et al., 1991).

Sensores precisam ser desenvolvidos para caracterizar e mapear a estrutura e a resistência ao corte do solo. Existem algumas pesquisas, mas equipamentos comerciais ainda não estão disponíveis (Stafford, 2000).

#### **2.6.4 SENSORES ACÚSTICOS E PNEUMÁTICOS**

Medidas de sensores acústicos e pneumáticos têm sido relacionadas com a textura do solo e sua compactação.

Vários sistemas foram desenvolvidos para medidas acústicas. Um microfone é utilizado como sensor acústico, gravando a interação entre um implemento agrícola e o solo, relacionando o som com o tipo de solo e com a compactação do mesmo.

A compactação do solo pode também ser estimada pela medida da pressão requerida para forçar um determinado fluxo de ar no solo. A medida desta pressão é realizada por sensores pneumáticos com indicação manométrica ou elétrica.

#### **2.6.5 SENSORES ELETROQUÍMICOS**

Medidas eletroquímicas têm sido utilizadas com sucesso para avaliar a fertilidade do solo. Isto é feito usualmente, tanto por um eletrodo íon-seletivo (ISE) ou por um transistor de efeito de campo íon-seletivo (ISFET). Em ambos os casos, medindo diferença de potencial entre o sensor e referencias do sistema, esta diferença de potencial está relacionada à concentração de íons específicos, como por exemplo  $H^+$  e  $K^+$ .

De acordo com testes preliminares de campo, o mapeamento em movimento de PH,  $K^+$ , e Nitrato ( $NO_3^-$ ) pode ser usado para identificar áreas do campo com fertilidade extremamente altas ou extremamente baixas e serve ainda como dado complementar para programas de amostragem de solos tradicionais, reduzindo significativamente o número de amostras laboratoriais requeridas.

Somente sensores equipados com ISE ou com ISEFET são capazes de fazer medidas diretas de propriedades químicas do solo. Diferentemente de conceitos de medidas previamente descritos, sensores eletroquímicos requerem uma significativa quantidade de tempo para que o elemento sensor atinja o equilíbrio com o solo medido. Embora as medidas eletroquímicas possam ser georeferenciadas, o espaço de tempo entre a amostragem e a saída do sensor impede o controle da variabilidade em movimento da aplicação de calcário e de fertilizantes.

Medidas diretas do solo estão disponíveis comercialmente para o mapeamento do PH do solo. Embora estas medidas representem fotografias da atividade iônica do solo, ela não pode ser usada para determinar a aplicação de calcário e de fertilizantes.

Sensores para medição com o implemento em movimento estão em desenvolvimento, mas somente sensores elétricos e eletromagnéticos estão sendo amplamente utilizados na Agricultura de Precisão. Os produtores preferem sensores que forneçam entradas diretas para algoritmos que prescrevam as taxas a serem aplicadas.

## **2.7 CONTROLE**

Uma das primeiras fontes de informação é a medida de dados. “Se você não pode medir você não pode controlar”. Geralmente sensores para Agricultura de Precisão são baseados em sensores de contato direto (Cox, 2002).

A integração de diferentes conceitos de medidas em um mapeamento único é um dos correntes tópicos de pesquisa. Acredita-se que várias fontes de dados unidas podem predizer melhor os atributos agronômicos do solo e dar suporte ao gerenciamento da produção.

Neste item serão descritos alguns métodos de controle e automação já usados em aplicações agrícolas.

- **Aplicação de agrotóxicos à taxa variável**

Muitos fabricantes estão produzindo controladores, pulverizadores, distribuidores de ar e aplicadores de herbicida para aplicações de taxa variável.

- **Sistemas guiados automaticamente**

Um sistema de direcionamento automático pode posicionar um veículo móvel com incerteza de trinta centímetros (cm) ou menos usando um DGPS, podendo substituir equipamentos convencionais para a pulverização e semeadura, servindo como uma valiosa ferramenta no trabalho do campo (Goddard, 1997).

- **Sistemas de colheita robotizados**

Segundo a resenha bibliográfica apresentada por Zhang et al. em 2002, já existiam robôs para a colheita de tomate, pepino, morango, uva e melancia sendo comercializados. Isto vale como uma previsão de que mais colheitadeiras robotizadas estejam sendo comercializadas no século vinte e um.

- **Sistemas operando em rede**

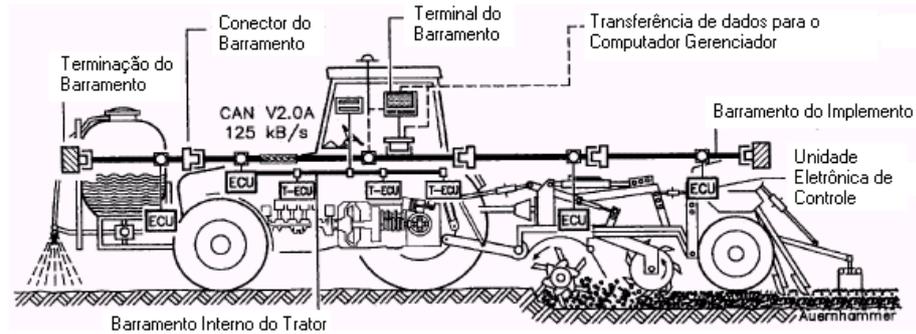
Um sistema de controle distribuído usando uma comunicação do tipo *Controlled Area Network* (CAN) entre sensores e atuadores individuais, um controlador e um sistema de navegação foi projetado e instalado em uma máquina agrícola para controlar a pulverização e a taxa de aplicação para agrotóxicos (vide 2.9).

## **2.8 SENSOREAMENTO REMOTO**

De acordo com trabalhos apresentados no IV Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, realizado em 2004, imagens de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para prever o nitrogênio necessário ao cultivo do milho, para estimar os danos provocados por insetos, para ajudar na aplicação de inseticida, para estimar a concentração de argila na superfície do solo e para detectar os próprios insetos.

## **2.9 COMUNICAÇÃO DE DADOS ENTRE SENSORES**

Na Alemanha, o desenvolvimento dos sistemas de posicionamento via satélite aconteceram simultaneamente com a evolução de um protocolo de comunicação padronizado para aplicações agrícolas. Após onze anos de esforços para a padronização, o Landwirtschaftliches BUS-System (LBS) está disponível para os agricultores em um grande número de equipamentos agrícolas (Auernhammer, 2001).



**Figura 1: Barramento de comunicação para equipamentos agrícolas (extraída de *Precision farming – the environmental challenge* de Auernhammer (2001))**

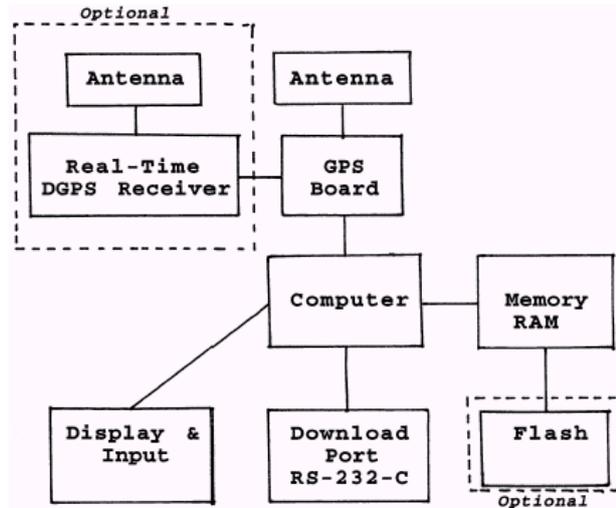
Com GPS e LBS (International Organization for Standardization (ISO) 11783), a tecnologia essencial para a Agricultura de Precisão está disponível. Em resposta à demanda, duas implementações diferentes para a fertilização estão disponíveis. Uma é a fertilização com base em mapas previamente gerados e a outra é a fertilização em tempo real (Auernhammer, 2001).

Sensores a bordo do veículo agrícola monitoram o desempenho do implemento e sua posição, velocidade no solo, patinagem, taxas de pulverização, e de aplicação de fertilizantes (Cox, 2002).

## 2.10 SISTEMAS PARA USO AGRÍCOLA COM POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

Sistemas de Posicionamento Global são uma unanimidade entre os pesquisadores. A seguir apresentam-se algumas declarações e propostas de implementação de alguns pesquisadores consultados na realização deste trabalho.

Schueller et al. (1999) desenvolveram um sistema para gerar mapas de produtividade de cítricos colhidos manualmente, utilizando um GPS comercial. Na figura 2 visualiza-se o sistema proposto por Schueller.

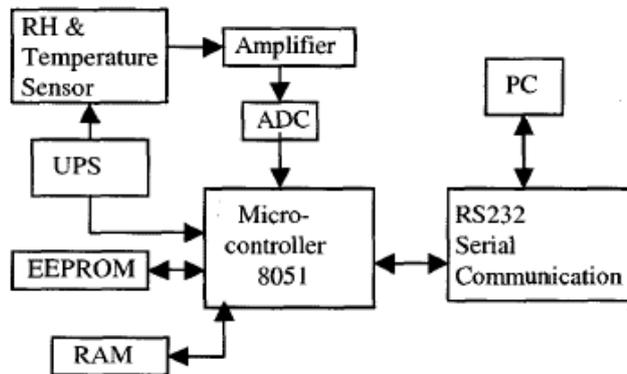


**Figura 2: Sistema Proposto por Schueller**

Em 2001, Cardoso et al. construíram um Analisador Multicanal Portátil de baixo custo. Este analisador é baseado em um microcontrolador alimentado com baterias de Lítio que fornecem energia para a operação; este sistema também possui memória suficiente para armazenar o conjunto de dados adquiridos, e porta RS 232 para a transferência dos mesmos para computadores pessoais. O sistema desenvolvido foi baseado em um microcontrolador de 20 Megahertz (MHz) da Microchip, com um conversor Analógico-Digital (A/D) interno. Junto com o Microcontrolador, existem outros dois módulos de processamento, a unidade de gerenciamento de energia e um GPS opcional; a unidade de gerenciamento de energia inclui a monitoração de baterias recarregáveis de Lítio, detalhe de extrema importância para instrumentos portáteis (Cardoso et al., 2000).

Em 2001, Moghavvemi et al. desenvolveram um circuito para fazer leituras de umidade e temperatura, utilizando um *Data Logger*, sendo que este possuía comunicação com computador pessoal através da porta serial RS 232. Esta comunicação foi utilizada tanto para transferir os dados armazenados como para acertar parâmetros, como por exemplo a taxa de

aquisição; foi utilizada também uma memória *Random Access Memory* (RAM) externa para o armazenamento dos dados coletados.



**Figura 3: Sistema proposto por Moghavvemi et al.**

A comunicação com o computador pessoal é feita através de um software, desenvolvido em linguagem C++, este software é utilizado para transferir e armazenar os dados no computador. Estes dados podem ser vistos como tabelas ou como gráficos e podem ser exportados para programas como o Microsoft Excel (Moghavvemi et al., 2001).

No final dos anos oitenta, sistemas de posicionamento global GPS introduziram um novo conceito na área militar e civil. Na agricultura, as possibilidades de aplicação são no posicionamento e navegação (Auernhammer, 2001).

A tecnologia que levou ao desenvolvimento dos conceitos de Agricultura de Precisão foi estabelecida no final dos anos setenta, com o surgimento do GPS. Este sistema forneceu subsídios para determinar a posição em qualquer ponto do globo terrestre vinte e quatro horas por dia, com incerteza de alguns centímetros. Em 1994, os sistemas de posicionamento que utilizam GPS não eram confiáveis, mas em 2000, os equipamentos GPS tornaram-se relativamente baratos e confiáveis. A constelação de satélites, que antes era um fator limitante, hoje está completa, a maioria dos receptores GPS utilizados em Agricultura de Precisão são de doze canais, ou seja, utilizam o sinal de doze satélites para calcular o

posicionamento, e possuem a exatidão submétrica exigida para estas aplicações, assim, o GPS é visto hoje como uma ferramenta disponível. (Stafford, 2000).

Segundo Lechner et al. (2000), a incerteza requerida na navegação de máquinas para aplicações agrícolas pode ser vista na tabela 1:

**Tabela 1: Exatidão requerida de sistemas GPS**

<b>Objetivo</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Exatidão</b>
Reconhecimento do Campo	Registro de horas de trabalho da máquina	20m
Reconhecimento de parcelas do campo	Distribuição local otimizada	1m
	Mapeamento da Produtividade	
Orientação de ferramentas	Trabalho em plantas	1cm

O conceito de Agricultura de Precisão foi beneficiado principalmente pelo surgimento e convergência de diversas tecnologias, incluindo Sistemas de Posicionamento Global, Sistemas GIS, miniaturização de componentes eletrônicos, controle automático, sensoriamento remoto no campo, computação móvel, processamento avançado de informações, e telecomunicações.

Durante o período de avaliação do uso do GPS para civis, a correção de erros era feita com a introdução de sistemas de correção diferencial DGPS, que necessita de uma estação receptora posicionada em uma localização conhecida com grande exatidão, que pode comparar sua posição exata com a posição calculada pelo sinal transmitido dos satélites que orbitam a terra. O erro pode ser transmitido por sistemas sem fio para a máquina no campo (Cox, 2002).

Chen et al. (2004) utilizaram um GPS com precisão submétrica e sensores de condutividade para mapear a argila no solo.

Os Sistemas de Posicionamento Global, utilizados para localizar e navegar veículos agrícolas no campo, tornaram-se os dispositivos mais comuns na Agricultura de Precisão (Adamchuk et al., 2004).

## **2.11 SISTEMAS EXISTENTES**

Depois de mais de uma década de pesquisa e práticas, a Agricultura de Precisão tem acumulado uma imensa quantidade de dados. Para a informação espacial e temporal que tem sido coletada, existe uma necessidade urgente de ferramentas projetadas especificamente para o armazenamento de dados, processamento, gerenciamento e análises. Existe também uma grande necessidade de padronização na exportação de dados.

### **2.11.1 GIS NO CAMPO**

Sistemas GIS são programas computacionais que realizam o mapeamento do solo através da integração dos dados mensurados em alguma porção do solo e sua posição geográfica (Neményi et al., 2003).

Pacotes GIS de propósito geral, como ARCVIEW, IDRISI e SURFER, fornecem muitas funções, algumas das quais oferecem pouca utilidade para aplicações em Agricultura de Precisão. A maioria destes pacotes tem alto custo e requer plataformas computacionais, o que nem sempre está disponível aos produtores rurais. Alguns sistemas desenvolvidos para aplicações em Agricultura de Precisão interagem diretamente com aparelhos DGPS ou sensores de colheita para adquirirem a localização e dados de colheita em tempo real.

O sistema GIS SPRING é um programa computacional gratuito desenvolvido no Brasil e pode ser utilizado em aplicações agrícolas. O SPRING está disponível para os usuários na página do INPE.

### 2.11.2 APLICAÇÕES MUNDIAIS

A pesquisa na Agricultura de Precisão começou nos Estados Unidos da América, Canadá, Austrália, e no oeste europeu na segunda metade dos anos oitenta, mas somente uma parte dos produtores praticou algum tipo de tecnologia da Agricultura de Precisão. A implantação deste tipo de cultivo tem sido feita principalmente através da utilização de máquinas existentes no campo com a adição de controladores e GPS para habilitar aplicações espacialmente variáveis. Até hoje, o principal uso de Agricultura de Precisão está na aplicação de fertilizantes.

Na Austrália, o monitoramento e o mapeamento da variabilidade espacial na colheita de pequenos grãos tem recebido muita publicidade. Porém, o movimento dos agricultores dirigido à Agricultura de Precisão é considerado não muito forte.

No Japão, o Ministério da Agricultura começou a investir em projetos de pesquisa em Agricultura de Precisão, focando no sensoriamento e controle relacionado com a mecanização agrícola. O Japão é caracterizado pela agricultura de pequena escala e intensiva, baseado no gerenciamento individual de plantas, ou seja, cada planta possui sensoriamento e taxa de aplicação de insumos própria, usualmente com controle manual.

A maioria dos experimentos em Agricultura de Precisão está concentrada na aplicação de fertilizantes e herbicidas com taxa variável; diferentes modelos de tecnologias têm sido experimentados em todo o mundo. Relatos de experimentos em Agricultura de Precisão têm sido encontrados em literaturas recentes na China, Indonésia, Bangladesh, Sri Lanka, Turquia, Arábia Saudita, Austrália, Brasil, Argentina, Chile, Uruguai, Rússia, Itália, Alemanha, França, Reino Unido, Estados Unidos da América e no Canadá.

Tecnologias em Agricultura de Precisão também têm sido empregadas em manejo de florestas. Em Washington (Estados Unidos), receptores GPS e *Data Loggers* são utilizados para rastrear a atividade de máquinas no corte de árvores.

Os dados para gerar os mapas são, em geral gravados no formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), depois estes dados são importados de disquetes para computadores pessoais e as imagens ou mapas com as grandezas mensuradas são criadas como matrizes (Neményi et al., 2003).

### **2.11.3 APLICAÇÕES NO BRASIL**

No Brasil, existem instituições realizando pesquisas na área da Agricultura de Precisão. Pode-se citar como exemplo a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). As pesquisas incluem o desenvolvimento, implementação e testes no campo, de:

- sistema automático de pesagem, utilizando DGPS com pós-processamento, para o mapeamento da produtividade da cultura de milho.
- sistema comercial constituído de um monitor de colheita e DGPS com correção de posicionamento em tempo real, via rádio, para mapeamento da produtividade de cereais.
- sistema para calibração de sensores de produtividade de colheita.
- sistema para regulagem automática da razão de aplicação de sementes para uma semeadora comercial.
- análise cinemática da exatidão de um DGPS.
- sistema automático de medição do peso de grãos colhidos desenvolvido, utilizando um sub-tanque graneleiro apoiado sobre quatro células de carga dentro do tanque da colhedora, sem nenhuma modificação estrutural do mesmo.

- Sistema de Posicionamento Global móvel utilizado sobre colhedora no campo, e um outro sistema fixo utilizado como base para correção diferencial através do pós-processamento dos dados de posição.

Os sistemas de medição automática de peso e de posicionamento permitiram a obtenção do mapa de produtividade para a cultura do milho. A principal vantagem do sistema de pesagem automático desenvolvido é o fato do mesmo permitir a obtenção direta do peso dos grãos colhidos sem a necessidade de sensores para a medição do fluxo de grãos e calibragem para cada cultura. O mesmo princípio poderá ser adaptado para o mapeamento da produtividade de culturas, onde sistemas de medição de fluxo de massa não possam ser utilizados.

No mapeamento da produtividade do milho, foi utilizado um sistema comercial para monitoramento de colheita e um sistema comercial de DGPS que necessita de uma estação base dedicada, com correção dos dados de posicionamento através da emissão dos sinais de correção através de rádio em tempo real. Este sistema mostrou-se tecnicamente viável, para o monitoramento de produtividade da cultura do milho, sem a utilização de sinais de correção via satélite, cujo custo ainda é muito alto para as condições da agricultura brasileira. As maiores dificuldades com relação ao uso desse sistema dizem respeito às inúmeras calibrações necessárias para o perfeito funcionamento do mesmo, a dificuldade que os sinais de correção emitidos via rádio em Frequência Modulada (FM) têm de ultrapassar obstáculos entre a estação base e móvel e a adequação do sistema de medição do fluxo de grãos adaptado às colhedoras nacionais.

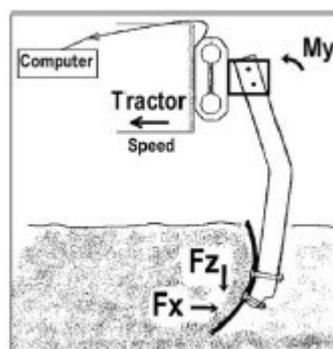
O sistema para calibração de sensores para mapeamento de produtividade mostrou-se adequado para o desenvolvimento e calibração de sensores de produtividade, produzindo fluxos conhecidos e controlados de grãos diversos, utilizando um sistema automático de pesagem como medidor do fluxo de grãos.

O sistema para regulagem automática de razões variáveis de sementes para uma semeadora comercial foi capaz de fazer o posicionamento do cilindro canelado, responsável pela dosagem de sementes, com um desvio máximo de 1,18 milímetros (mm) o que se mostrou adequado para aquele fim.

A determinação cinemática da exatidão de um DGPS comercial mostrou que o sistema tem condições de atingir uma incerteza de posicionamento menor que 1 metro, na faixa de velocidade de 4 a 12 quilômetros por hora ( $\text{km.h}^{-1}$ ), o que é suficiente para a maioria das operações realizadas em Agricultura de Precisão, inclusive a aplicação localizada de insumos.

## 2.12 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO

Em 2002, Sirjacobs et al. mediram a resistência mecânica do solo através de uma lâmina arrastada pelo solo a uma profundidade e velocidade constante, o transdutor sensor de força utilizado foi um anel octogonal, que mensurou as forças no eixo horizontal, vertical e o momento gerado pelo arraste da lâmina. Estes valores de força foram armazenados juntamente com um sinal gerado por um DGPS.



**Figura 4: Sistema utilizado por Sirjacobs**

A relação entre a força gravada e os diversos parâmetros físicos do solo foram estudados. Em alguns pontos foram feitas amostras do solo. Nestes pontos foi medida a

umidade e o índice de cone. Nas amostras foram medidas a coesão, o ângulo interno de fricção, a resistência à compressão, os limites Atterberg e a granulometria. Foram estabelecidas algumas relações significantes entre índice de cone e a força no eixo horizontal ao conteúdo de água no solo. Os resultados do experimento em condições de campo mostram boas perspectivas de inovações tecnológicas na caracterização em tempo real de condições físicas do solo.

No trabalho citado, a resistência mecânica do solo é definida como a força que necessita ser aplicada para obter uma determinada deformação do mesmo.

Concluiu ainda o autor que:

- a medida da resistência mecânica local do solo pode ser usada para a regulação em tempo real nos parâmetros no manejo do solo na Agricultura de Precisão. O mapeamento de características físicas do solo também facilita o estudo de sua influência no desenvolvimento de plantas e na colheita.

- em operações de cultivo, uma resistência mecânica alta do solo pode ser favorável ou desfavorável, de acordo com o objetivo. Ela é favorável para a trafegabilidade dos implementos porque aumenta a sustentação mecânica do solo, mas é desfavorável ao manejo do solo atrapalhando a germinação de sementes e o crescimento das raízes.

- a medida direta da resistência do solo é destrutiva.

- entre os numerosos métodos desenvolvidos para medir a deformação do solo, dois são classicamente utilizados.

a) método laboratorial, baseado em testes triaxiais de amostras de solo não manuseadas. Permite estimativa da coesão e do ângulo interno de fricção pela equação de Mohr-Coulomb. Uma das principais limitações deste método é relatada como a dificuldade de coletar cilindros homogêneos em camadas lavradas e a relativa complexidade e duração do processo de medição.

b) método da medida da resistência à penetração, empurrando-se uma haste com ponta em cone no solo. Este equipamento é denominado penetrômetro, sendo o método semi-empírico, mas de operação rápida. Nele, com o auxílio de uma célula de carga, mede-se a força necessária para a penetração do cone no solo. Esta medida é indicada como Índice de Cone. Muitas aplicações do penetrômetro são descritas na literatura, notavelmente para avaliar a passagem de veículos, para determinar os efeitos devido à compactação no crescimento de raízes, medir a resistência da crosta superficial e analisar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo.

Afirma ainda o autor que:

- o conhecimento das propriedades do solo e especialmente da sua resistência mecânica é um aspecto importante da Agricultura de Precisão para fazer mapas de variabilidade e regular o manejo de máquinas semeadoras.

- testes triaxiais e medidas de solo com penetrômetros fornecem dados descontínuos.

- mapas de solo confiáveis necessitam de dados contínuos.

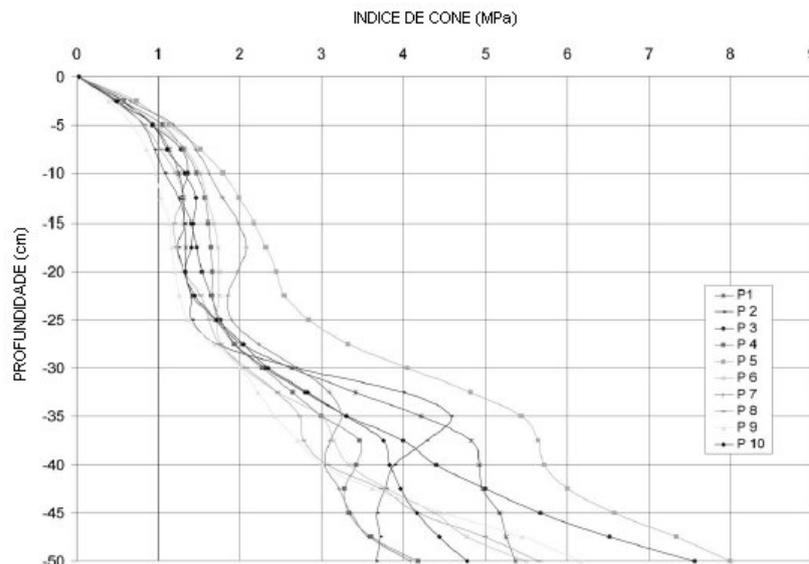
- para regular máquinas, a resistência mecânica do solo necessita ser medida em tempo real por sensores.

Um sistema completo de medição foi desenvolvido por Sirjacobs e seus colaboradores para adquirir simultaneamente os sinais vindos da resistência mecânica do solo e do sistema DGPS. O canal de medição consiste de um Laptop industrial, um condicionador de sinais para extensômetros e uma placa de aquisição com conversor A/D com resolução de 16 bits. A aquisição foi feita pelo LabVIEW (National Instruments) para permitir a gravação e aquisição a uma taxa de 500 hertz (Hz). Uma posição do DGPS por segundo é gravada.

Para o pós-processamento do sinal, foi elaborado um programa em C++, que processa posteriormente os dados de força adquiridos em forma de tensão, sendo estes valores

convertidos em valores de força a partir de uma equação de calibração levantada em laboratório. Também é gravado o tempo em que cada medição foi realizada.

Em 2002, Sirjacobs et al., relatam também a utilização de um penetrômetro móvel publicando os resultados apresentados na figura 5.



**Figura 5: Exemplo de medidas realizadas por um penetrômetro portátil por Sirjacobs et al. em 2002.**

Em algumas partes da área de solo examinada, as medidas realizadas mostraram forças superiores às forças registradas em linhas adjacentes (linhas de cultivo são paralelas ao longo do deslocamento do trator na área trabalhada). Concluíram que isto pode ser devido ao fato de que o sensor foi aplicado onde já havia passado anteriormente a roda do trator, ou devido à variação da profundidade.

Em 1998, Tyndale-Biscoe et al. desenvolveram um sistema terrestre instrumentado para coletar dados, tendo entre estes instrumentos um penetrômetro. Este sistema é baseado num veículo terrestre, sendo que sua posição é dada por um sistema de rádio, utilizando triangulação. O sistema é interligado a um computador pessoal através da RS 232; no penetrômetro, foi medida a velocidade, a força e a profundidade da inserção.

Outras conclusões de Sirjacobs podem ser resumidas como:

- extensômetros e células de carga fornecem um caminho conveniente para medir forças que agem em ferramentas agrícolas. Eles são relativamente baratos, muito robustos e facilmente interfaceados com sistemas de aquisição de dados, fazendo deles ideais para aplicações em tempo real. Células de carga são rotineiramente usadas para medir esforços horizontais, esforços verticais e esforços laterais agindo sobre implementos agrícolas.

- adequando a temporização do mapeamento do solo ou a integração com um sensor de umidade do solo, pode-se delinear áreas onde é recomendada escarificação local intensa da terra. Os resultados das pesquisas que apontam na avaliação da vantagem da escarificação em profundidade variável são ainda limitados.

Em 2002, Durán analisou a frequência de ruptura do solo e concluiu que a umidade e a profundidade da ferramenta tem efeito direto na mesma.

Em 2003, Kushwaha et al. compararam o perfil de ruptura do solo ao movimento de diferentes modelos de hastes de corte do solo. Este trabalho teve como objetivo o entendimento da interação do solo com os implementos, sendo utilizado para otimizar o desenho de implementos e minimizar a quantidade de energia despendida nas atividades de lavoura.

### **2.12.1 PESQUISAS BRASILEIRAS NA MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO**

Penetrômetros portáteis de acionamento manual têm sido usados em estudos comparativos de sistemas de manejo de solo, medindo a resistência à penetração e relacionando o crescimento de raízes à compactação. A dificuldade de importação e o alto custo dos equipamentos existentes no mercado têm limitado o uso (Collares et al., 2004).

Collares et. al. (2004), projetaram e montaram um penetrômetro de cone com taxa constante de penetração. Este penetrômetro foi montado em uma estrutura metálica, de forma

que sempre permita penetração na vertical e é motorizado. A força é mensurada via uma célula de carga. A profundidade de penetração é mensurada por um transdutor potenciométrico e a haste é de aço inoxidável com 100 mm de comprimento por 10 mm de diâmetro. O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido na incubadora tecnológica, da Universidade Federal de Santa Maria e é composto de: - placa de aquisição que coleta os sinais elétricos da célula de carga e do transdutor potenciométrico; - processador que converte o sinal elétrico vindo dos transdutores em valores de força e deslocamento; - memória externa de 60 Megabytes (MB) e - *software* para transferir os dados da memória para um computador. Os dados são criados em modo ASCII (Collares, 2004).

Santos et al. (2003), construíram um penetrômetro de velocidade constante, acionado pelo sistema hidráulico de um trator, e com aquisição de dados baseado num Micrologger 21X. O conjunto foi instalado em uma carreta, tracionada pelo trator. As medidas foram comparadas com um penetrômetro de acionamento manual. Encontrou boa correlação entre os dados fornecidos pelo penetrômetro manual e o hidráulico.



**Figura 6: Penetrômetro desenvolvido por Santos**

Cappelli et al. (2001) construíram, calibraram e testaram um penetrômetro eletrônico de baixo custo, o equipamento pode ser usado para determinar índices de cone até 40 cm de

profundidade. O equipamento possui dispositivo mecânico, circuito eletrônico e software. A parte mecânica é constituída de um corpo de alumínio que abriga um cone; entre este cone e o corpo de alumínio existe uma mola de característica linear, que se deforma sob aplicação de força. A instrumentação é constituída por um sensor de deslocamento, utilizado para medir a deformação da mola e determinar, indiretamente a força. A medição do deslocamento é do tipo óptico, com um diodo emissor de luz e um fototransistor agindo sobre uma fita com marcas escuras e claras. Uma interface com computador foi construída bem como um programa para processar e armazenar os dados.

### **2.12.2 PESQUISAS NO IEE-UFRGS**

O laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica da UFRGS que já possui tradição na área de instrumentação e aquisição de dados, também desenvolveu um sistema portátil de aquisição de dados utilizando o microcontrolador PIC. Este sistema possui alimentação de doze volts, e um microcontrolador PIC 16C73A, com conversor A/D interno. Duas das entradas analógicas podem ser configuradas para ler sinais de tensão e corrente, vindos de células de carga e transdutores em geral. O sistema possui visor de cristal liquido de dezesseis caracteres por duas linhas e interface RS 232 para comunicação com computador pessoal. Os dados são armazenados numa memória RAM com capacidade de 8 KB. Possui ainda quatro canais para a aquisição de dados digitais, podendo medir frequência ou contar pulsos. Este sistema vem sendo utilizado pelo Grupo de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, para a aquisição de dados em um trator agrícola instrumentado, conforme a configuração a seguir:

- dois sensores extensométricos (célula de carga e haste escarificadora).
- um sensor potenciométrico de profundidade do implemento agrícola.
- dois sensores digitais para medição de velocidade nas rodas traseiras.
- um sensor digital para a medição da rotação do motor.
- um sensor digital para roda odométrica.

No ano 2000, outro sistema desenvolvido foi um penetrômetro manual, que está em uso pelo mesmo grupo de pesquisa da Faculdade de Agronomia. O penetrômetro consiste de uma célula de carga e um sistema de medição de posição digital indutivo interligados ao PIC 16C73A, com memória de 8 KB. Armazena a profundidade e a força necessária para introduzir o penetrômetro no solo. O Sistema é portátil alimentado com baterias que permitem a utilização por longos intervalos de tempo.

Na figura 7 apresenta-se uma foto do sistema de aquisição (Projeto Trator) e na figura 8 o conjunto completo utilizado pelo Laboratório de Solos na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.



**Figura 7: Sistema de aquisição de dados desenvolvido no IEE-UFRGS**



**Figura 8: Conjunto completo utilizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia – UFRGS**



**Figura 9: Roda odométrica e escarificador instrumentado**

Em 2004, foi desenvolvido um outro penetrômetro com o mesmo princípio de funcionamento, porém a medição da profundidade foi realizada com sensores ultrasônicos.

Este penetrômetro encontra-se em uso na Universidade Federal de Pelotas, que também tornou-se parceira de projetos desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica.

### **2.13 SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Depois de mais de dez anos de desenvolvimento, a Agricultura de Precisão possui muito da tecnologia necessária disponível para sua aplicação, mas com as vantagens ambientais e econômicas ainda não comprovadas (Stafford, 2000).

Várias inovações tecnológicas têm sido apresentadas, porém o desenvolvimento de princípios agronômicos e ecológicos para otimizar a vida no campo tem encontrado dificuldades, pois muitos produtores estão incertos se adotarão a tecnologia disponibilizada nos seus campos. Motivações para espalhar os conceitos de Agricultura de Precisão podem vir de uma legislação ambiental rígida, interesse público contra o uso excessivo de agrotóxicos e vantagens econômicas vindas da redução de insumos agrícolas e aumento da eficiência no gerenciamento.

Em 1998 foi feita uma pesquisa nos Estados Unidos da América, envolvendo aproximadamente 8500 produtores agrícolas. De acordo com os resultados, em 1998, somente quatro por cento de todos os produtores utilizavam alguma das tecnologias da Agricultura de Precisão para a produção de grãos. A principal foi a aplicação a taxa variável (VTR) de pesticidas.

Segundo Cook et al. (2000), verificou-se que produtores na Austrália aplicam as tecnologias na Agricultura de Precisão mais lentamente que o esperado. Eles atribuem esta adoção lenta aos seguintes fatores: (1) Custo da implantação, (2) Ausência de vantagens visíveis da implantação e (3) pouca disposição para serem os primeiros a implantar.

No Reino Unido, uma análise foi feita e aproximadamente vinte e cinco por cento dos 350 produtores que empregam o mapeamento da colheita usam GPS. Resultados da análise mostraram que os que implantaram o mapeamento da produção passaram do primeiro estágio de entusiasmo. Estão aguardando agora o segundo estágio da implementação da Agricultura de Precisão necessitando da resposta dos agrônomos para interpretação dos mapas e conversão deles em planos de gerenciamento. Mapeamento da produtividade precisa ser integrado a sistemas de suporte e decisão.

Uma pesquisa similar foi feita no Arkansas e indicou que os primeiros a implantarem a Agricultura de Precisão representam menos de vinte por cento dos produtores daquele local. Estes pioneiros são jovens, possuem elevado conhecimento de agronomia e são usuários de computadores. Produtores estão esperando por resultados de pesquisas sobre vantagens de diversas tecnologias em Agricultura de Precisão antes de investirem significativamente na adoção de mais tecnologia.

Segundo o que foi compilado por Zhang et al. (2002), as seguintes barreiras precisam ser superadas antes que as tecnologias da Agricultura de Precisão possam ser amplamente implementadas:

- excesso de dados para o gerenciamento de áreas rurais. Este problema tem que ser superado pelo desenvolvimento de ferramentas de integração de dados, sistemas inteligentes e sistemas de suporte a decisão.

- ausência de procedimentos racionais e estratégias para determinar as taxas de aplicações em uma dada área e ausência de evidências validadas cientificamente para as vantagens obtidas pelos conceitos de Agricultura de Precisão.

- trabalho intensivo e coleção de dados onerosa. O desenvolvimento de sistemas sensores em tempo real precisa ser implementado antes que a Agricultura de Precisão seja amplamente praticada.

Porém Auernhammer (2001) afirmava que a tecnologia da Agricultura de Precisão irá ganhar mais reconhecimento quando vantagens como questões ambientais forem esclarecidas e ocorrer um aumento no fluxo de informações.

## **2.14 INTEGRAÇÃO DE DADOS**

A maioria dos pesquisadores tem usado o mapeamento e sensoriamento separadamente para solucionar individualmente problemas da Agricultura de Precisão. Entretanto, um grupo de cientistas na Alemanha está fazendo um esforço para integrar estes dois sistemas para a aplicação à taxa variável de nitrogênio fertilizante. Isto requer o desenvolvimento de valores de referência da necessidade do solo para cada tipo de grão. No trabalho de Zhang (2002), sensores de nitrogênio e da quantidade de água na planta e no solo, integração de dados mensurados remotamente, transmissão e aquisição de dados em tempo real, estabelecimento de uma base de dados para uso universal de fertilizantes específicos e avaliações econômicas e ecológicas são citados como necessidades importantes.

Devido aos resultados e opiniões às vezes conflitantes relativas ao uso das tecnologias existentes, deve-se determinar a viabilidade econômica da atual e da futura Agricultura de Precisão.

Considerando as possibilidades técnicas oferecidas, a Agricultura de Precisão utilizada atualmente, pode ser chamada no máximo de modesta.

A economia potencial é relativamente pequena se a operação de uma lavoura já está próxima ao nível ótimo mesmo sem a aplicação da tecnologia. Neste caso, a aplicação de fertilizantes à taxa variável somente levará a uma redistribuição da quantidade de fertilizantes, o resultado no incremento na produtividade é comparativamente modesto e pode não cobrir os custos adicionais. Custos adicionais podem ser recuperados por novas opções de

gerenciamento e redução de impactos ambientais, resultantes de informações de melhor qualidade.

Também as definições para a densidade de aquisição de dados, e desta forma, para a estipulação da programação do controlador são requeridas.

Estes três últimos parágrafos estão no trabalho publicado por Auernhammer em 2001 e ainda parecem válidos hoje.

### 3 MÉTODOS E MATERIAIS

A partir das informações e objetivos traçados para este trabalho foi desenvolvido um sistema microprocessado para aquisição de dados que tem como características principais a versatilidade, portabilidade e o fato de ser dotado de receptor GPS. A versatilidade pode ser entendida como a capacidade do sistema para interfaceamento com diversos transdutores utilizados em implementos agrícolas e taxa de aquisição de dados programável. Também a capacidade de armazenamento de dados em um cartão de memória removível é uma característica que lhe confere versatilidade. A portabilidade indica que é alimentado por baterias e que pode ser facilmente acoplado a uma máquina agrícola em serviço no campo, pois é de reduzido tamanho e baixo peso, sem partes móveis e com conectores rosqueados que lhe conferem robustez.



**Figura 10: Equipamento desenvolvido**

A conexão com um GPS torna possível o georeferenciamento das grandezas físicas mensuradas, uma necessidade para os modernos equipamentos dedicados à Agricultura de Precisão. O sistema proposto mostrado na figura 10 está descrito detalhadamente a seguir.

### 3.1 MICROPROCESSADOR

O microprocessador adotado foi um microcontrolador da família 8051, o Atmel 89S52, com 8 KB de memória de programa e 256 bytes de memória de dados. Este microcontrolador pode ser programado e re-programado facilmente, sendo ideal para a prototipação de sistemas ou para aplicações que necessitem de alterações constantemente. A tensão de operação deste componente é de 4,0 a 5,5 volts, suportando uma frequência de operação de até 33 MHz. Possui trinta e duas linhas de entrada e saídas programáveis, três temporizadores - contadores de 16 bits, oito fontes de interrupção, um canal serial *full duplex* e temporizador para *whatchdog*. Suas características têm permitido ampla utilização em produtos comerciais das mais diversas aplicações. Devido a sua “popularidade”, tanto para fins acadêmicos em atividades de ensino, como em aplicações para instrumentos de pesquisa e comerciais, encontram-se disponíveis compiladores para linguagem de programação, depuradores passo a passo de programas, gravadores e apagadores da memória de programa no próprio circuito integrado.

No IEE tem-se acesso a diversas facilidades para uso dos microcontroladores da família 8051: sistemas de desenvolvimento baseados na linguagem C, gravadores e apagadores de programas em *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM), depuradores passo a passo e outros recursos.

### 3.2 GPS

Conforme Balastreire (2002), Molin e Gimenez afirmaram que é possível gerar mapas de produtividade a partir de receptores GPS sem correção diferencial e encontrar correlação de 86% com mapas gerados utilizando sistemas DGPS. Então, para o georeferenciamento, foi utilizado um GPS sem correção diferencial eTrex Garmin de doze canais, que já possui antena interna integrada. Este receptor faz uma leitura dos dados a cada segundo e apresenta nominalmente uma incerteza de quinze metros. Em medições posteriores, que serão descritas nos próximos capítulos, verificou-se que a incerteza geralmente é bem menor do que este valor. Vale lembrar que este GPS poderia ser substituído por receptor DGPS, pois é externo e conectado via conector padrão DB 9.

A adoção deste receptor GPS foi influenciada por dois fatores. Primeiro pelo fato dele possuir uma saída de dados padrão *National Marine Electronics Association* (NMEA) 0183, onde é possível a obtenção de dados como latitude, longitude, data, e a hora universal. A segunda motivação para o uso deste modelo de receptor, é que na bibliografia consultada os pesquisadores fazem citações a sistemas de posicionamento global que utilizam receptores GPS com precisão de cinco a quinze metros, possuindo tempo de aquisição e cálculo da posição não superior a quinze segundos. Desta forma, este receptor GPS cumpre os requisitos básicos para aplicações agrícolas.

### 3.3 MEMÓRIA AUXILIAR

A memória auxiliar, assim chamada nesta dissertação, é uma memória 24LC08, com capacidade de armazenamento de 8 Kbits, ou seja, 1 KB. Têm-se então 1024 endereços de oito bits para a armazenagem de dados. Esta memória também possui interface serial a dois

fios, filtro *schmitt-trigger* para a eliminação de ruídos e pode reter dados por mais de duzentos anos, segundo referem suas características técnicas dadas pelo fabricante.

Esta memória é utilizada em três situações. A primeira é como um *buffer* para os dados mensurados. Esta necessidade será discutida adiante. A segunda é para armazenar o último endereço onde foram escritos dados na memória de armazenagem e transferência, permitindo que o usuário possa desligar e religar o equipamento sem a perda de dados. E, finalmente, a terceira situação consiste na armazenagem das configurações do sistema, ou seja, o número de canais e a taxa de aquisição.

### **3.4 MEMÓRIA DE ARMAZENAGEM E TRANSFERÊNCIA DE DADOS**

Este dispositivo permite que sejam adquiridas quantidades relativamente grandes de dados, seja pela quantidade de canais ou por uma taxa de aquisição alta.

A solução adotada foi o uso de cartões de memória *Secure Digital (SD) Card*, o mesmo que é utilizado em máquinas fotográficas e *palmtops*. Estes cartões têm as mais variadas capacidades, sendo de 64MB até 2GB as mais comuns. Desta forma, quando o usuário necessitar de mais memória, basta adquirir um cartão com maior capacidade. Este tipo de memória possui outra característica peculiar, a possibilidade de ser removida do sistema e lida em um computador pessoal. Pode ser considerada como se fosse um periférico para armazenamento de arquivos de dados ou programas semelhante a um disquete ou *Compact Disc (CD)*, com a vantagem de não se movimentar.

Outro fator que influenciou a opção por este tipo de memória é que ela pode ser adquirida facilmente, com um custo baixo e que já existem dispositivos para sua leitura em computadores pessoais, conforme se apresenta na figura 11.



**Figura 11: Leitor de cartões para computador pessoal**

A memória utilizada neste trabalho é de 128 MB, o que nos fornece a possibilidade de armazenar até 134.217.728 dados de oito bits. O funcionamento desta memória é relativamente simples. Normalmente ela se comunica com o microprocessador através de um protocolo *Serial Peripheral Interface (SPI)*, que é emulado por *software* neste sistema.

Para acessar este cartão de memória são necessários comandos para a sua inicialização, para a escrita, para a leitura e para apagar dados.

### **3.5 INTERFACE COM O USUÁRIO**

Para que o usuário tenha acesso a todos os recursos e funções do sistema, existe um menu apresentado no display onde o usuário seleciona o número de entradas desejadas, a taxa de aquisição, se deseja ou não ler o GPS ou se deseja gerar um mapa a partir de pontos de

interesse. Utilizou-se o *Liquid Crystal Display* (LCD) 16x2, bastante conhecido e já utilizado em outros protótipos desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação.

Para editar a configuração do sistema existem dois botões que acessam as funções dos menus. Esta é uma facilidade adicional quando comparada com outros sistemas como *Data Loggers*.

Um equipamento em uso atualmente no laboratório de solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, exige um computador pessoal acoplado para que possa ser efetuada alguma alteração na configuração no sistema de aquisição. Além disso, esta configuração demanda conhecimentos de programação em linguagem Assembler, o que dificulta em muito a interação com o usuário.

### **3.6 TRANSFERÊNCIA DE DADOS**

O sistema conta com uma interface serial RS 232 *full duplex*, que é utilizada tanto como entrada de dados, quando o sistema está conectado ao GPS, como para saída de dados, quando o usuário desejar transferi-los para um computador.

Esta interface de comunicação está configurada para 4800 bits por segundo, pois esta é a velocidade de transferência de dados do receptor GPS.

Torna-se evidente a necessidade de um programa no computador hospedeiro para a recepção dos dados e um outro programa para o processamento dos mesmos. Nesta dissertação o programa utilizado para a transferência dos dados foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Eletro-eletrônica. Utilizou-se o Excel para construir gráficos e mapas, apenas como demonstração das potencialidades do sistema de aquisição construído.



**Figura 12: Sistema de transferência de dados**

Visto que a comunicação é realizada pela porta serial, o computador hospedeiro dos dados mensurados deve possuir um conector *Data Bus* (DB) 9 padronizado para a comunicação serial. Caso o computador não possua este conector, o que ocorre em *Notebooks*, existe disponível no mercado um adaptador comercial de baixo custo que realiza a interface entre a comunicação serial e portas *Universal Serial Bus* (USB).



**Figura 13: Conversor serial para USB**

Existe outra possibilidade de transferência dos dados, sendo esta um diferencial para este sistema. Como já foi citado anteriormente, o cartão de memória SD Card pode ser facilmente removido de seu soquete e lido em um computador que possua o periférico adequado, desde que os dados estejam devidamente formatados em *File Allocation Table* (FAT) 16 ou FAT 32, formatação reconhecida pelo *Windows*.

### **3.7 ENTRADAS DE SINAIS ANALÓGICOS PARA EXTENSÔMETROS**

Para que fossem efetuadas as medidas de resistência ao corte do solo, foram utilizados escarificadores instrumentados desenvolvidos em parceria pelo Laboratório de Solos e o Laboratório de Instrumentação Eletro-eletrônica da UFRGS, especialmente voltados a aplicações agrícolas.

Os sensores de força destes escarificadores são sensores extensométricos montados numa configuração tipo ponte completa. Este conjunto de medição fornece sinais relativamente pequenos, da ordem de 0 a 10 milivolts.

Foram implementados três canais voltados a este tipo de transdutor extensométrico. Cada um destes canais é dotado de amplificadores de instrumentação INA 118 da Burr-Brown, desenvolvidos especificamente para amplificar sinais elétricos de nível semelhante aos gerados pelas pontes de extensômetros.

### **3.8 ENTRADAS DE SINAIS ANALÓGICOS PADRONIZADOS (0-5V)**

Além das entradas voltadas a transdutores extensométricos, o sistema possui outras oito entradas analógicas de 0 a 5 volts para sensores que disponibilizam saídas neste padrão.

O medidor de profundidade de inserção das hastes de corte no solo, acoplado à roda odométrica é um transdutor potenciométrico com saída de 0 a 5 volts . Restam ainda sete entradas, que poderão ser acopladas aos mais diversos sensores, que forneçam como saída sinais analógicos em níveis elétricos de tensão compatíveis.

### **3.9 ENTRADAS DIGITAIS**

Foram previstas oito entradas digitais, que poderão ser utilizadas por sensores que forneçam um sinal elétrico pulsado de 0 a 5 volts, por exemplo.

Na aplicação testada em campo, uma das entradas digitais foi utilizada para a medição da distância real percorrida, que é efetuada por um conjunto de roda metálica dentada e sensor indutivo denominada de roda odométrica.

### **3.10 CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL**

Visto que são medidas grandezas contínuas, como a resistência mecânica do solo, e que o microcontrolador opera com sinais digitais, um conversor analógico-digital torna-se uma das partes fundamentais deste sistema. O conversor analógico-digital utilizado é o ADS7825, da Burr-Brown. Este possui quatro canais para sinais analógicos de 0 a 5 volts, saída digital em 16 bits, com tempo de conversão inferior a 25 microssegundos por canal.

A alimentação deste conversor é realizada com fonte simples de cinco volts e o mesmo possui saída de dados no formato serial ou paralelo, para sua interligação com o microprocessador.

### **3.11 PORTABILIDADE**

A portabilidade do sistema é boa, pois o mesmo possui dimensões reduzidas: 26 cm de largura, 18 cm de profundidade e 11 cm de Altura, pesando 1,5 quilogramas (Kg). A operação autônoma do sistema é garantida por uma bateria interna recarregável, de 12 volts e 1,2 Ampere\*hora (Ah) de capacidade. O consumo do sistema sem os transdutores ligados é de 80 mA. Para calcular o consumo total deve-se considerar o consumo do GPS e de cada transdutor ligado ao sistema.

Esta bateria pode ser recarregada por um carregador que forneça 14.5 Volts, com limitação de corrente em 250 mA.

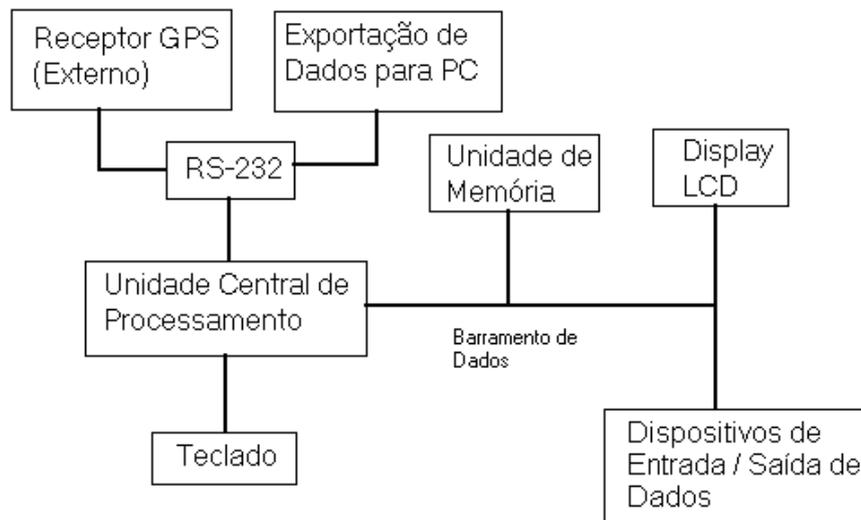
O sistema pode, também ser alimentado pelo sistema elétrico de um veículo agrícola, quando acoplado ao mesmo.

### **3.12 INTEGRAÇÃO ENTRE OS BLOCOS DO SISTEMA**

Tendo-se apresentado os blocos funcionais do sistema, é possível realizar uma descrição do conjunto, partindo-se de um diagrama em blocos e em seguida detalhando os esquemas elétricos construídos.

No diagrama em blocos, pode-se visualizar a unidade central de processamento, no caso, o microcontrolador 8051; esta unidade centraliza todas as operações do sistema, sendo responsável pela escrita no display LCD, pela leitura dos botões de interface com o usuário, pela escrita e leitura na memória auxiliar e na memória de armazenagem, pelo controle do conversor analógico-digital, pelo endereçamento dos multiplexadores para a leitura correta dos canais, pela realização da comunicação através da interface serial e, finalmente, pela leitura e gerenciamento dos dados mensurados.

A figura 14 representa um diagrama em blocos do sistema implementado.



**Figura 14: Diagrama em blocos do sistema implementado**

A unidade de memória divide-se em memória de armazenagem e memória auxiliar. A memória auxiliar é utilizada, como já descrito anteriormente, para a gravação das configurações do sistema, para armazenar qual foi o ultimo endereço em que foi escrito na memória de armazenagem e como buffer de memória, pois a leitura e a escrita na memória de armazenagem é realizada em blocos de 512 bytes. A memória de armazenagem pode ser removida, possibilitando que o usuário possa extrair as grandezas mensuradas do sistema e enviar para um laboratório de análise onde algum pesquisador, engenheiro agrônomo ou técnico pode interpretá-las.

O sistema conta também com uma interface serial implementada pelo próprio microcontrolador e por um conversor TTL para RS 232. Nela o usuário pode conectar o receptor GPS, quando disponível, ou efetuar a leitura dos dados adquiridos.

O receptor GPS é o responsável por fornecer a posição, data e hora universal para as medidas realizadas.

No Apêndice A apresenta-se o esquema elétrico do sistema, com todas as conexões entre os circuitos integrados e outros componentes utilizados. No Apêndice B está listado o *software* em linguagem fonte.

### 3.13 FLUXOGRAMA LÓGICO DE OPERAÇÃO

Neste tópico será apresentada uma breve explanação sobre o fluxograma lógico do sistema, do ponto de vista do usuário.

Quando o sistema é acionado, através da tecla liga-desliga, o usuário visualiza a primeira tela de identificação. Trata-se de uma tela onde se observa a sigla do laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica, a sigla da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o ano em que o sistema foi desenvolvido. Após dois segundos, surge automaticamente a segunda tela de identificação. A mesma cita o nome do autor deste projeto e o nome do projeto; dois segundos após, surge a primeira tela que realiza interface com o usuário, onde o mesmo pode escolher se deseja produzir um mapa a partir de pontos mensurados pelo GPS, ou efetuar amostras de grandezas relativas ao solo.

Se a opção for a primeira, ou seja, gerar um mapa, o sistema entra em uma sub-rotina, da qual só sairá após a sua reinicialização. Foi sugerido pelo autor deste trabalho e aceito pelo orientador, que esta sub-rotina comporte-se como descrito a seguir:

O usuário elege algum ponto de interesse na área pesquisada e pressiona um botão específico, conforme o menu presente no display LCD e este ponto é automaticamente registrado na memória do sistema; a este ponto é atribuído um número, que é incrementado a cada novo ponto marcado, permitindo que o usuário possa gerar mapas de áreas de interesse. Os dados relativos a estes pontos podem ser transferidos via métodos já descritos neste trabalho, para um computador pessoal.

Se a opção for a de mensurar grandezas relativas ao solo, o usuário deve pressionar a opção referente a este comportamento do sistema no menu. A seguir é exibida uma tela na qual é solicitado ao usuário se existe a necessidade de alterar a configuração das entradas do sistema e a taxa de aquisição, ou se o ensaio a ser realizado tem as mesmas características do anterior. Se o ensaio for com características semelhantes ao anterior, após cinco segundos, o sistema exibirá automaticamente a próxima tela, que informa a configuração atual, após 2 segundos de exibição desta tela o sistema está pronto para operar.

A configuração do sistema pode ser alterada a qualquer momento pelo usuário, desde que o sistema seja reinicializado; como já citado anteriormente, a configuração é acessível, bastando apenas ao usuário a confirmação da existência de um receptor GPS acoplado ao sistema, a escolha do número de transdutores extensométricos, entre zero e três; a escolha do número de entradas analógicas padronizadas do tipo zero a cinco volts, entre zero e oito; a escolha do número de entradas digitais, entre zero e oito e a seleção da taxa de aquisição, nesta aplicação entre um e dez aquisições por segundo.

Conforme pesquisas realizadas na ESALQ/USP e relatadas na seção 2.11.3 deste trabalho, a faixa de velocidade entre 4 a 12 km.h<sup>-1</sup>, ou seja, entre 1,11 e 3,33 metros por segundo, é suficiente para a maioria das operações realizadas em Agricultura de Precisão. Com isso pode-se estimar qual taxa de aquisição do sistema mais se ajusta a estas aplicações. Para que se obtenha uma amostra a cada 11 centímetros, a taxa de aquisição de 10 hz é suficiente se a velocidade for de 4 Km.h<sup>-1</sup>. Se a velocidade for de 12Km.h<sup>-1</sup>, será adquirida uma amostra a cada 33 centímetros para esta mesma taxa de aquisição. A exatidão obtida por receptores GPS é desta ordem de grandeza, desta forma, se estiver sendo utilizado um GPS como sensor de posicionamento na aplicação em causa, não faz sentido buscar taxa de aquisição superior, caso não seja necessário uma leitura freqüente do GPS, a taxa de aquisição de 10 Hz seria perfeitamente recomendável.

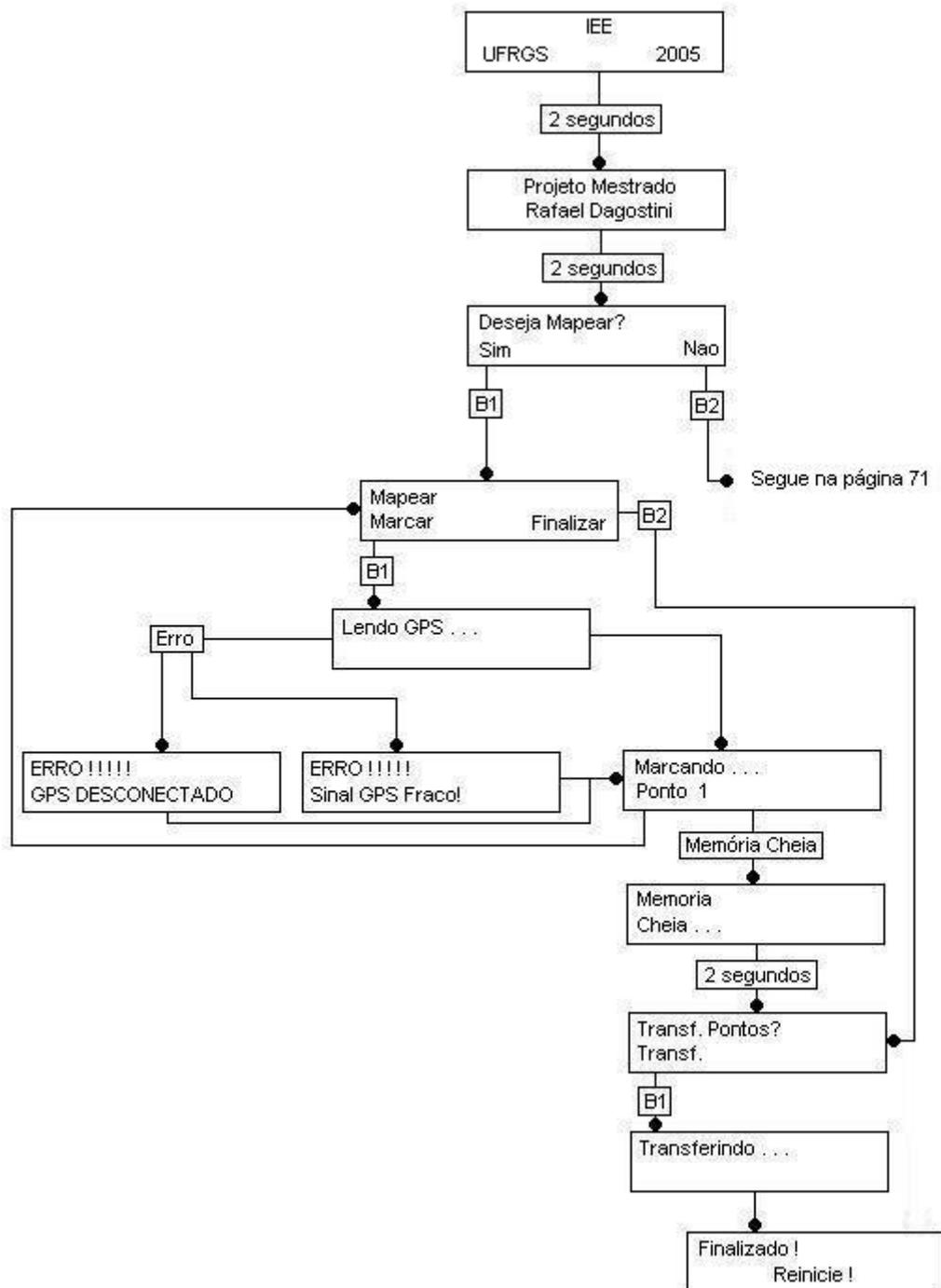


Figura 15: Fluxograma lógico (Primeira parte)

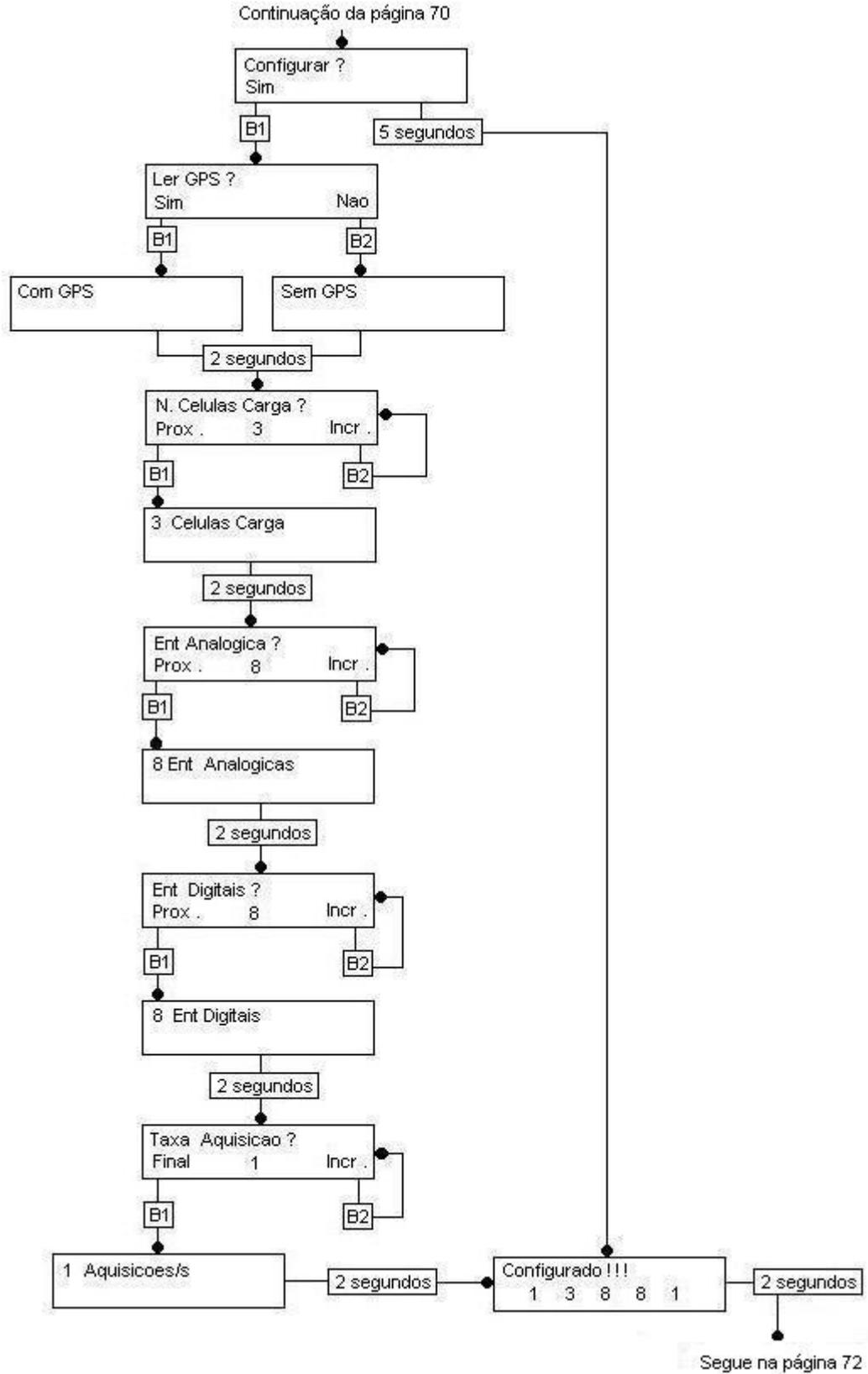
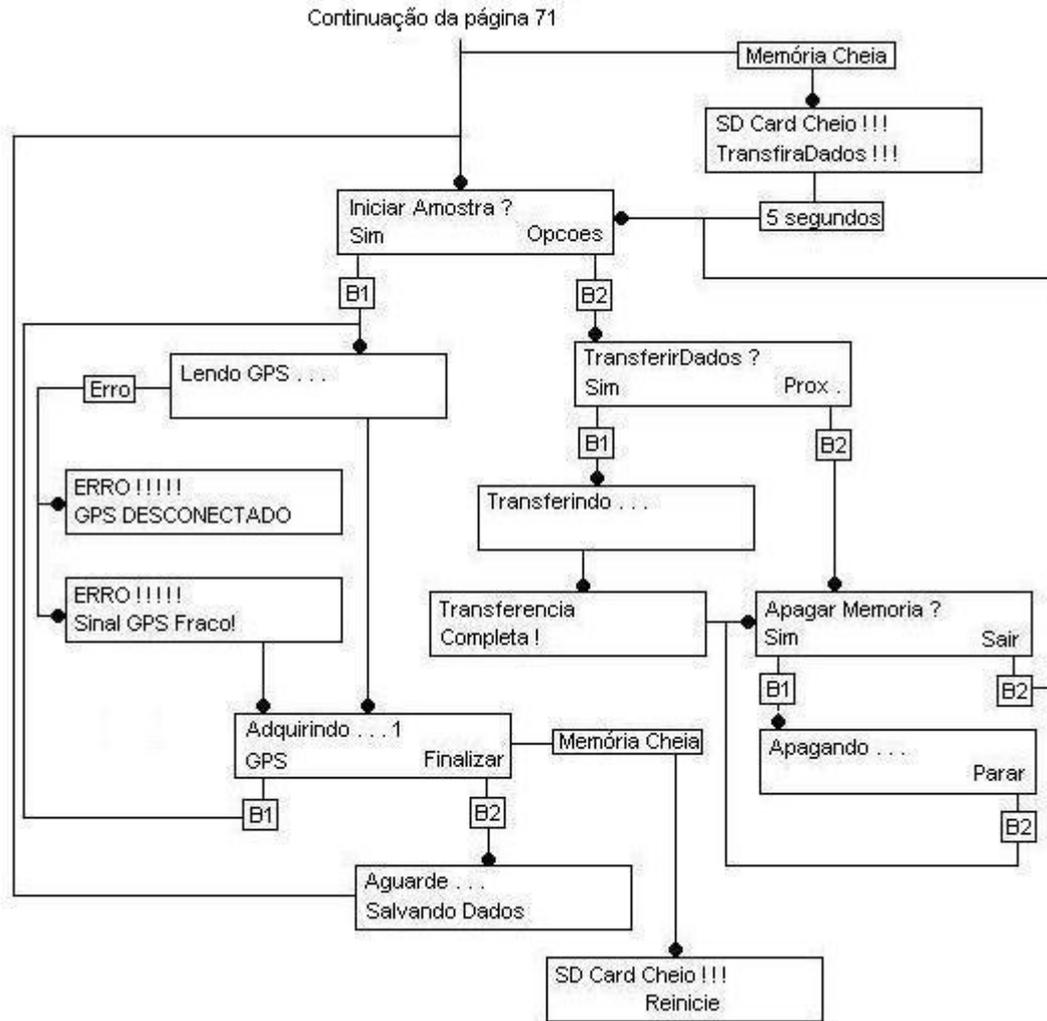


Figura 16: Fluxograma lógico (Segunda parte)



**Figura 17: Fluxograma lógico (Terceira parte)**

Após a exibição da tela onde o usuário é informado da configuração do sistema, surge uma nova tela, onde se pode optar por iniciar a amostragem ou escolher entre algumas opções em um submenu. Neste submenu estão as opções para a transferência dos dados via porta serial, ou o apagamento do conteúdo da memória de armazenagem para uma nova batelada de aquisições. A transferência de dados não apaga a memória de armazenagem.

Ao iniciar a aquisição, uma tela informa o status do sistema. Indica no *display* o número da respectiva amostragem, a opção por finalizar a amostragem e uma opção por

leitura do receptor GPS, que pode ser lido a qualquer momento sob comando do operador. No momento que o usuário optar por finalizar a amostragem, surge uma tela que indica que os dados estão sendo salvos na memória de armazenagem.

Para a ilustração deste capítulo podem ser visualizadas nas figuras 15, 16 e 17 a seqüência dos menus e as telas do sistema.

#### **4 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO NA MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE DO SOLO**

Para teste e validação do equipamento construído, foram realizados ensaios qualitativos e quantitativos na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, nos dias 21 de junho e 19 de julho do corrente ano. A Estação Experimental Agronômica está localizada no Km 146 da BR 290, em Eldorado do Sul, RS e conta com uma área de 1.580 hectares, dividida em seis setores (Fitossanidade, Horticultura, Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Plantas de Lavoura, Solos e Zootecnia).

Para a realização destes ensaios, foi utilizado um trator John Deere tracionando uma semeadora de plantio direto. Este implemento encontra-se adaptado com uma haste escarificadora instrumentada (escarificador), sensor de profundidade de inserção da haste escarificadora no solo (profundímetro) e sensor de deslocamento do conjunto (roda odométrica).



**Figura 18: Sistema utilizado no ensaio prático**

## 4.1 ENSAIOS PRELIMINARES

Para poder interpretar os dados a serem colhidos no campo com os transdutores disponíveis, preliminarmente realizaram-se ensaios de validação do receptor GPS, do escarificador, do profundímetro e da roda odométrica.

### 4.1.1 TESTE E VALIDAÇÃO DO RECEPTOR GPS

O receptor GPS, conforme já citado no capítulo três, fornece dados como latitude, longitude, data e a hora no meridiano de Greenwich. O formato dos dados é fornecido conforme a norma NMEA 0183. De acordo com esta norma, os dados disponibilizados pelo GPS são identificados por um cabeçalho que precede um conjunto de campos com as informações. Para as aplicações pretendidas utiliza-se a primeira linha de dados que está apresentada a seguir, conforme uma seqüência de caracteres alfanuméricos separados por vírgula.

**\$GPRMC,193123,A,2201.8963,S,04751.5950,W,000.0,088.3,170603,019.3,W\*7A**

Na tabela 2, os dados correspondentes a esta linha estão apresentados como um exemplo e sua descrição.

Na coluna denominada “campo” a linha 1 corresponde à hora e a linha 9 corresponde à data.

Nas linhas 4, 5 e 6 são disponibilizadas as coordenadas de localização do equipamento. Um detalhe importante a observar é que no display do GPS os dados de latitude

e longitude são exibidos com três casas decimais e quando os dados são transmitidos através da porta serial são disponibilizados com quatro casas decimais.

Estes dados são utilizados pelo equipamento para registro no arquivo de dados das amostras colhidas em cada ensaio de campo e a qualquer momento que o operador desejar conforme se explica no detalhamento da forma de coleta de dados.

**Tabela 2: Primeira linha do protocolo NMEA 0183**

Campo	Exemplo	Descrição
1	<b>193123</b>	Hora universal (UTC): 19:31:23
2-3		Estado da recepção A=Posição válida V=Posição não confiável
4-5	<b>2201.8963,S</b>	Latitude: 22 graus 01.8963 minutos sul
6	<b>04751.5950,W</b>	Longitude: 47 graus 51.5950 minutos oeste
7	<b>000.0</b>	Velocidade em relação ao chão, em nós
8	<b>088.3</b>	Track/Course Made Good
9	<b>170603</b>	Data universal: 17/06/03
10-11	<b>019.3,W</b>	Variação magnética em graus
12	<b>*7A</b>	Checksum

Diversos ensaios foram realizados para a verificação da validade do receptor GPS para o georeferenciamento. Num dos ensaios realizados na Estação Agronômica da UFRGS, no dia 19 de julho, foram feitas dez medidas em dois pontos georeferenciados com outro receptor GPS em outras condições; este outro receptor GPS havia obtido como coordenadas para o ponto “1” 30°05.6096’ Sul (S), 051°40.5135’ Oeste (W) e para o ponto “2”, 30°05.8134’ S, 051°40.6053’ W.

Nas tabelas 3 e 4 apresentam-se dez medidas obtidas nos mesmos pontos com o receptor GPS eTrex da Garmin que ficou acoplado ao equipamento desenvolvido nesta dissertação.

Estes pontos poderiam ter suas coordenadas convertidas para *Universal Transverse Mercator* (UTM), que realizam a planificação da superfície terrestre e apresentam os dados

em escala métrica, corrigindo distorções que se verificam próximo aos pólos. Optou-se por manter os dados no formato fornecido pelo receptor GPS por simplicidade, já que o objetivo do trabalho não é fazer o processamento dos dados, mas sim garantir a aquisição das informações.

**Tabela 3: Medições realizadas no ponto “1”**

3005.6405,S	05140.5435,W
3005.6405,S	05140.5435,W
3005.6405,S	05140.5435,W
3005.6405,S	05140.5436,W
3005.6405,S	05140.5436,W
3005.6404,S	05140.5436,W
3005.6405,S	05140.5435,W
3005.6405,S	05140.5435,W
3005.6405,S	05140.5434,W
3005.6405,S	05140.5434,W

**Tabela 4: Medições realizadas no ponto “2”**

3005.8443,S	05140.6357,W
3005.8442,S	05140.6357,W
3005.8442,S	05140.6358,W
3005.8442,S	05140.6358,W
3005.8442,S	05140.6359,W
3005.8442,S	05140.6360,W
3005.8442,S	05140.6360,W
3005.8442,S	05140.6360,W
3005.8441,S	05140.6360,W
3005.8441,S	05140.6360,W

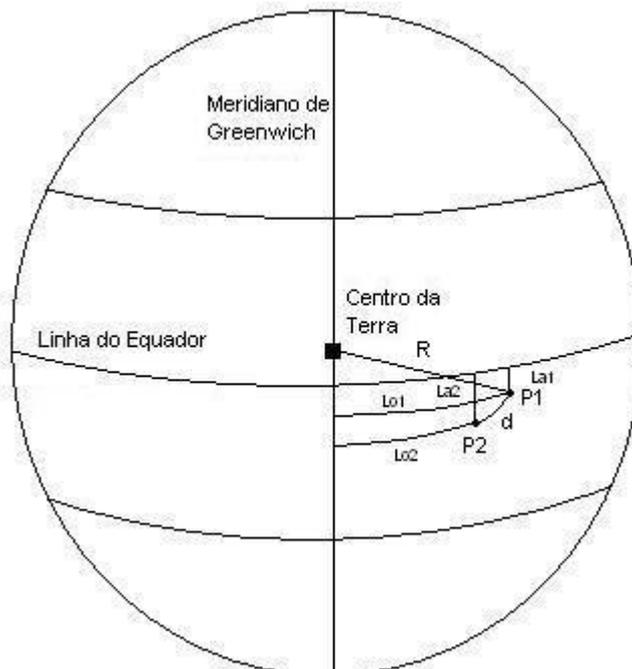
Com base nestas tabelas, calculou-se a média e o desvio padrão das medidas realizadas com o equipamento desenvolvido para cada ponto. O valor encontrado para a média das medidas no ponto “1” é 3005.64049 S, 05140.54351 W, o que resulta em uma diferença nas coordenadas de 0,03089’ para a latitude e 0,0300’ para a longitude em relação à medição do outro receptor GPS. O desvio padrão encontrado para esta medida é de 0,0000316’ para a latitude e 0,0000738’ para a longitude. Para o ponto “2”, a média das medidas é 3005.84419 S, 05140.63589 W, resultando em uma diferença no posicionamento em relação à medida do

outro GPS de 0,03079' para a latitude e 0,03059' para a longitude. O desvio padrão calculado para o conjunto de medidas no ponto “2” foi de 0,0000568' para a latitude e 0,000129' para a longitude.

A análise dos resultados das diferenças medidas poderia indicar alguma inconsistência. No entanto nenhum dos equipamentos utilizados pode ser considerado um padrão.

Para melhor avaliar a discrepância entre as medidas, decidiu-se calcular as diferenças entre elas em termos de distância na superfície terrestre.

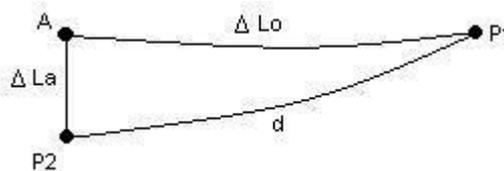
Para calcular distância entre dois pontos de coordenadas conhecidas, existem diversos métodos já desenvolvidos, alguns destes estão apresentados na publicação de Médici (2003). Porém para ilustrar este procedimento apresentam-se a seguir dois métodos bastante simples, considerando a superfície terrestre como perfeitamente esférica. Na figura 19 está ilustrado este problema.



**Figura 19: Segmento de arco que representa a distância entre dois pontos**

Sendo: P1, P2: Pontos de interesse  
 d: Distância entre os pontos P1 e P2  
 La1: Latitude de P1 em relação à linha do Equador  
 La2: Latitude de P2 em relação à linha do Equador  
 Lo1: Longitude de P1 em relação ao meridiano de Greenwich  
 Lo2: Longitude de P2 em relação ao meridiano de Greenwich  
 R: Raio da Terra

Para resolver esta questão, efetuou-se um cálculo teórico, considerando o raio da terra e as coordenadas destes dois pontos.



**Figura 20: Vista ampliada do segmento de arco entre dois pontos com as diferenças de coordenadas**

Sendo: A: Latitude de P1 e Longitude de P2  
 $\Delta Lo$ : diferença de longitude entre P1 e P2  
 $\Delta La$ : diferença de latitude entre P1 e P2

Considerando a figura 20 e usando as coordenadas dos pontos pode-se calcular os comprimentos dos trechos  $\overrightarrow{AP1}$  e  $\overrightarrow{AP2}$  pela relação:

$$\frac{2 * \pi * R}{360^\circ} = \frac{\overrightarrow{AP2}}{\Delta La} = \frac{\overrightarrow{AP1}}{\Delta Lo} \quad (1)$$

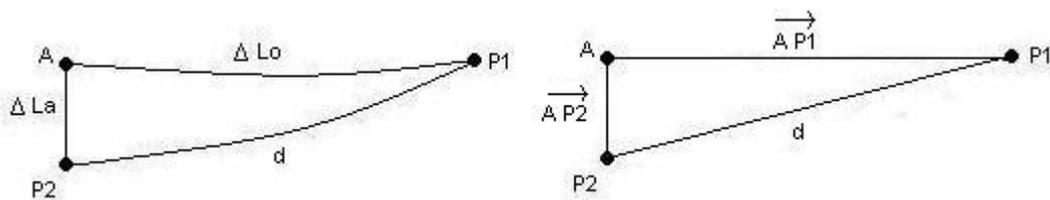
Sendo: R: Raio da terra = 6380Km

$$\overrightarrow{AP2} = \frac{\Delta La}{360^\circ} * 2\pi * R \quad (2)$$

$$\overrightarrow{AP1} = \frac{\Delta Lo}{360^\circ} * 2\pi * R \quad (3)$$

Pode-se considerar que os segmentos  $\overrightarrow{AP1}$  e  $\overrightarrow{AP2}$  agora calculados, constituem-se nos catetos de um triângulo retângulo, já que representam a retificação dos arcos correspondentes às diferenças de coordenadas dos pontos sobre a superfície terrestre considerada como esférica.

Assim, a distância entre P1 e P2 poderia ser calculada como sendo aproximadamente igual à hipotenusa do triângulo formado.



**Figura 21: Triângulo obtido com a retificação dos arcos correspondentes às diferenças das coordenadas de dois pontos**

$$d = \sqrt{(\overrightarrow{AP1})^2 + (\overrightarrow{AP2})^2} \quad (4)$$

$$d^2 = \left( \frac{\Delta La}{360^\circ} * 2\pi * R \right)^2 + \left( \frac{\Delta Lo}{360^\circ} * 2\pi * R \right)^2 \quad (5)$$

$$d^2 = \left( \frac{2\pi * R}{360^\circ} \right)^2 * (\Delta La)^2 + \left( \frac{2\pi * R}{360^\circ} \right)^2 * (\Delta Lo)^2 \quad (6)$$

$$d^2 = \left( \frac{2\pi * R}{360^\circ} \right)^2 * (\Delta La^2 + \Delta Lo^2) \quad (7)$$

$$d = \frac{2\pi * R}{360^\circ} * \sqrt{\Delta L a^2 + \Delta L o^2} \quad (8)$$

$$d = \frac{2\pi * 6380000}{360^\circ} * \sqrt{\Delta L a^2 + \Delta L o^2} \quad (9)$$

$$d = 111352 * \sqrt{\Delta L a^2 + \Delta L o^2} \quad (10)$$

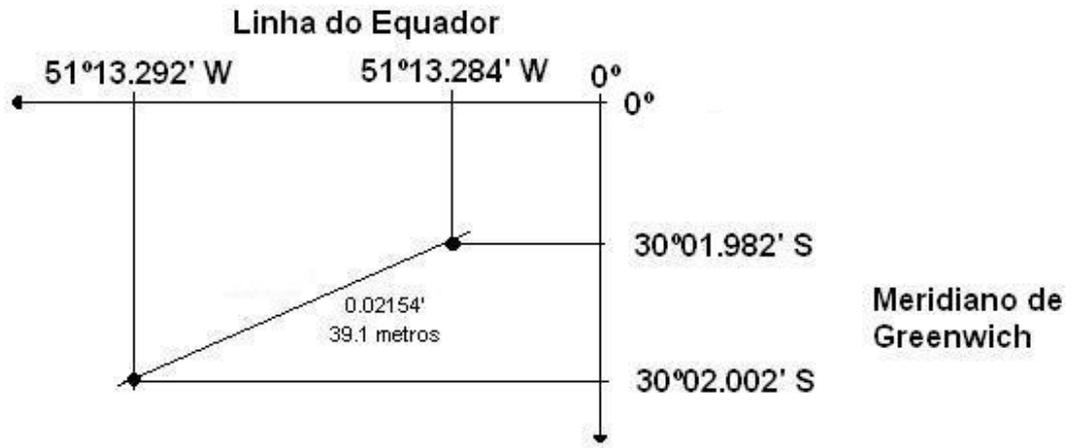
Supondo que estes pontos estejam separados por um grau, verifica-se que estariam distantes 111 Km e 352 metros. Para cada minuto angular, calcula-se um afastamento de 1855,87 metros, conseqüentemente, cada metro na superfície terrestre representaria distanciamento angular de 0,00054 minutos.

Utilizando a equação (10) e as coordenadas de P1 e P2 obtidas com o GPS eTrex da Garmin calcula-se uma distância de 39,97 metros.

Num cálculo mais simplificado ainda, pode-se aplicar o teorema de Pitágoras utilizando-se diretamente as coordenadas angulares, conforme figura 22. A diferença angular calculada, que corresponde à hipotenusa do triangulo retângulo, foi de 0.02154'. Conforme demonstrou-se anteriormente, um metro equivaleria a 0,00054' nesta latitude. Assim, pode-se calcular a distância entre os dois pontos dividindo-se a “distância angular” encontrada, correspondente à hipotenusa na figura 22, que foi de 0.02154' por 0,00054', alcançando-se o valor de 39,88 metros.

Observa-se pois uma pequena diferença no valor resultante a partir dos dois métodos de cálculo. Para efetuar a verificação destes cálculos teóricos, foi realizada uma medida usando uma função existente no receptor GPS eTrex da Garmin, que calcula a distância entre dois pontos selecionados. Utilizando esta função, marcou-se a latitude e a longitude destes dois pontos; para o primeiro ponto, as coordenadas são 30°02.002' Sul, 51°13.292' Oeste, o segundo ponto possui coordenadas 30°01.982' Sul, 51°13.284' Oeste (estes dados de latitude

e longitude possuem três casas decimais depois da vírgula, pois esta é a forma como o receptor GPS exibe os pontos marcados no display).



**Figura 22: Conversão de ângulo para distância**

A distância indicada pelo GPS nestas condições foi de 39,1 metros.

A diferença entre os valores calculados pelos dois métodos anteriormente citados, em comparação com a distância apresentada pelo GPS pode ser explicada pela simplificação de que o Planeta foi considerado uma esfera perfeita, o que não é bem verdade.

Utilizando o programa de cálculo proposto por Médici (2003) para as mesmas coordenadas medidas pelo GPS eTrex da Garmin encontra-se 39 metros.

Considerando-se a diferença entre as coordenadas medidas com os dois diferentes equipamentos GPS pode-se agora calcular a mesma em distância. Aplicando-se a equação (10) para medições no ponto “1” calcula-se:

$$d_1 = 111352 * \sqrt{\left(\frac{0,03089}{60}\right)^2 + \left(\frac{0,0300}{60}\right)^2} = 79,91 \text{ metros}$$

E para o ponto “2”:

$$d_2 = 111352 * \sqrt{\left(\frac{0,03079}{60}\right)^2 + \left(\frac{0,03059}{60}\right)^2} = 80,55 \text{ metros}$$

Com estes resultados conclui-se que pode haver uma razoável diferença entre pontos no campo quando as coordenadas dos mesmos forem medidas com diferentes equipamentos GPS.

Considerando as incertezas nas medidas do GPS eTrex da Garmin para as coordenadas dos pontos “1” e “2” pode-se calcular as distâncias equivalentes para 3 desvios padrão também aplicando-se a equação (10). Para o ponto “1” tem-se:

$$d_1 = 111352 * \sqrt{\left(\frac{3 * (3,16 \times 10^{-5})}{60}\right)^2 + \left(\frac{3 * (7,38 \times 10^{-5})}{60}\right)^2} = 0,45 \text{ metros}$$

E para o ponto “2”:

$$d_2 = 111352 * \sqrt{\left(\frac{3 * (5,68 \times 10^{-5})}{60}\right)^2 + \left(\frac{3 * (12,9 \times 10^{-5})}{60}\right)^2} = 0,79 \text{ metros}$$

Conclui-se então que as variações das coordenadas de um mesmo ponto utilizando-se um mesmo GPS apresentaram-se pequenas. Assim, tendo-se em conta todas as verificações realizadas, consideraram-se válidos e perfeitamente aproveitáveis os dados de localização provenientes do GPS eTrex da Garmin utilizado neste trabalho.

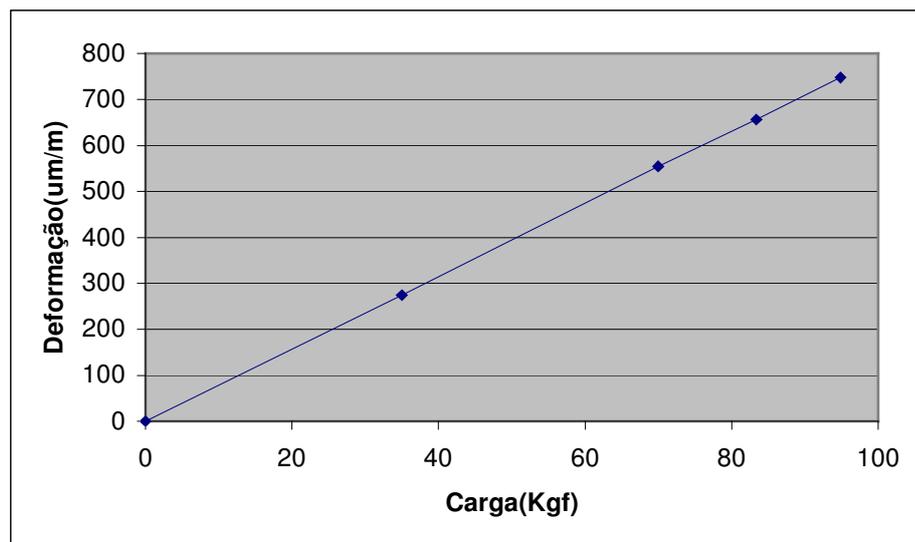
#### **4.1.2 ENSAIO DA HASTE ESCARIFICADORA INSTRUMENTADA**

Foi realizado um ensaio de teste da haste escarificadora instrumentada. Neste ensaio, o escarificador foi fixado na horizontal e foram aplicados pesos conhecidos a ele. Utilizou-se um condicionador de sinais desenvolvido no laboratório de instrumentação da UFRGS, que apresenta como saída a deformação sofrida pelo escarificador em micrometros por metro

( $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ ) em função do carregamento mecânico do mesmo. Inicialmente o condicionador pode ser ajustado para compensar qualquer desbalanço de zero da ponte de extensômetros colados no escarificador antes de qualquer aplicação de carga. Com estes dados pode-se obter uma curva de calibração do mesmo.

**Tabela 5: Tabela de ensaio do escarificador instrumentado**

Carga (Kgf)	Deformação( $\mu\text{m}/\text{m}$ )
0	0
35	274
70	554
83.4	656
94.9	748



**Figura 23: Curva de calibração do escarificador instrumentado**

Com base nestes dados e gráficos, verifica-se, apesar de poucos pontos apresentados no ensaio, a linearidade deste tipo de sensor extensométrico. Calculou-se então a sensibilidade do escarificador em relação a força que está sendo aplicada. A equação matemática que será utilizada para o cálculo da força aplicada pelo solo no escarificador será:

$$\text{Força} = 0,1266 * \text{Deformação} = 0,1266 * \frac{1}{K} * \frac{V_0}{V_{EXC}} \quad (11)$$

Sendo: K a sensibilidade dos extensômetros,  $V_0$  a tensão de desbalanço e  $V_{EXC}$  a tensão de excitação da ponte. Assim, mede-se a força pela tensão  $V_0$  amplificada, garantindo-se  $V_{EXC}$  constante e igual a 5 volts, com  $K = 2,0$  para os extensômetros utilizados na haste.

#### 4.1.3 ENSAIOS DO PROFUNDÍMETRO E DA RODA ODOMÉTRICA

O profundímetro é um sensor potenciométrico de 1 Kohm que é alimentado por uma fonte de tensão de cinco volts do Sistema de Aquisição, produzindo um sinal elétrico que varia de 1 a 2,25 volts para um deslocamento de 0 a 35 centímetros.

A roda odométrica é um sensor digital que gera vinte pulsos para uma volta completa da roda que corresponde a um deslocamento de 148 centímetros no campo.

Na figura 24 visualiza-se o sistema denominado de roda odométrica e profundímetro, acoplado a um implemento agrícola.



**Figura 24: Profundímetro e roda odométrica**

## 4.2 ENSAIOS DE CAMPO

Num primeiro ensaio, o sistema de aquisição de dados adquire informações a uma taxa de uma medida por segundo (1 Hz).

Nestas condições o sistema é inicializado com uma primeira leitura do receptor GPS e segue adquirindo em seqüência quatro entradas analógicas e duas entradas digitais, na taxa de aquisição programada. A aquisição termina quando o operador sinalizar o final da amostragem ou a memória estiver totalmente utilizada. A leitura do receptor GPS só é novamente realizada se o operador pressionar a tecla GPS.

Neste primeiro teste só estavam ativos os canais correspondentes ao escarificador, ao profundímetro e a roda odométrica.

O segundo ensaio realizou-se com taxa de dez aquisições por segundo, estando ativos apenas o escarificador, o profundímetro e a roda odométrica, não sendo realizada as leituras das outras entradas analógicas e digitais.

O resumo dos dados obtidos nestes ensaios está apresentado na tabela 6. Nesta tabela, que é obtida com a transferência dos dados colhidos pelo equipamento para um computador pessoal através da saída RS 232, apresenta-se uma proposta de estrutura de dados.

Na primeira linha da tabela apresenta-se o número da amostra, na segunda linha a data da amostragem, na terceira linha a hora da amostragem (horário no Meridiano de Greenwich), na quarta linha a latitude e a longitude e nas linhas seguintes os dados obtidos com cada um dos transdutores sensores utilizados. Cada coluna de dados equivale a uma das entradas do sistema. Neste caso, a primeira coluna é a entrada analógica que mede a força exercida no escarificador. Os dados correspondentes à segunda e à terceira coluna devem ser desconsiderados, pois não havia nenhum transdutor ligado a estas entradas analógicas. A

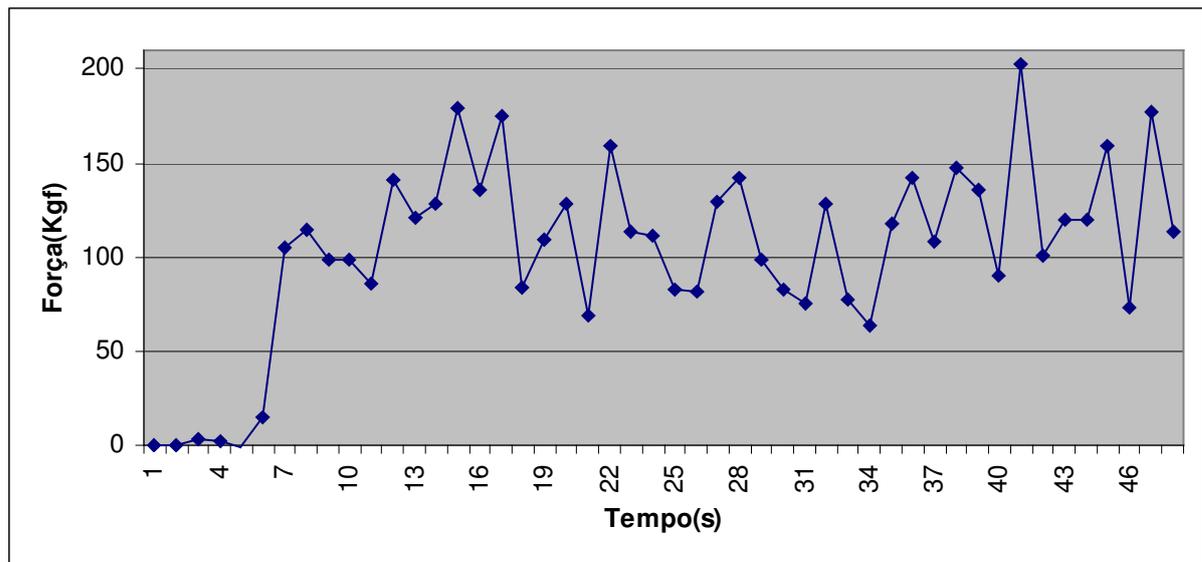
quarta coluna corresponde às leituras obtidas do profundímetro. A quinta coluna corresponde à entrada digital que mede a distância percorrida pelo conjunto agrícola utilizado a partir dos pulsos gerados pela roda odométrica. Os dados da sexta coluna devem também ser desprezados, pois correspondem a uma entrada digital não utilizada neste caso.

**Tabela 6: Dados obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)**

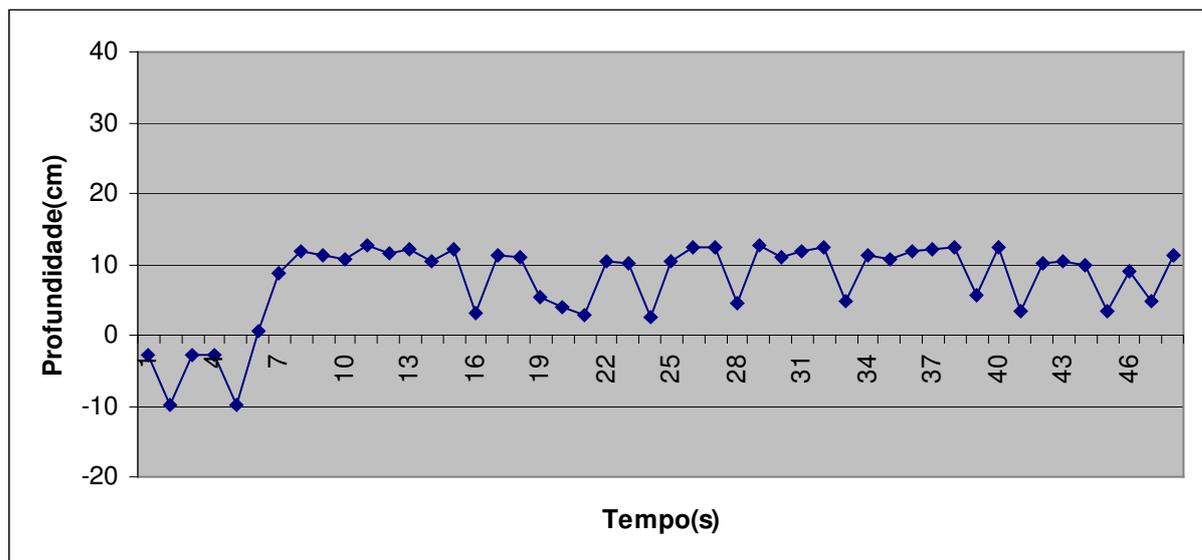
Amostra 1	(Número da amostra)					
19/07/05	(Data da amostra)					
17:22:10	(Hora universal)					
3005.5526, S	05140.5619, W	não	não	profundímetro	roda	não
escarificador	conectado	conectado		odométrica	conectado	
815	124	39	717	0	0	
819	38	97	559	0	0	
839	63	7	716	0	0	
829	39	7	718	0	0	
810	15	96	559	0	0	
3005.5548, S	05140.5653, W					
932	55	7	792	3	0	
1647	100	7	973	8	0	
1717	68	15	1043	9	0	
1595	212	39	1031	9	0	
1597	156	39	1013	10	0	
1493	22	7	1058	11	0	
1927	172	39	1037	11	0	
1775	65	15	1048	10	0	
1830	141	39	1008	11	0	

As primeiras cinco leituras de dados foram realizadas sem que o implemento estivesse sulcando o solo. Isto pode ser identificado, pois a entrada digital correspondente à roda odométrica permaneceu em zero. A partir de uma nova leitura das coordenadas iniciaram-se as aquisições, agora com o implemento sulcando o solo, registrando-se os dados adquiridos nas linhas subseqüentes.

Cada linha desta tabela equivale a uma aquisição, neste caso, numa taxa de uma por segundo. A tabela apresenta apenas o início do arquivo de dados. Os dados adquiridos em todo primeiro ensaio podem ser examinados nos gráficos apresentados nas figuras 25 e 26.



**Figura 25: Dados de força versus tempo obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)**



**Figura 26: Dados de profundidade versus tempo obtidos no primeiro ensaio (1 Hz)**

Observando-se conjuntamente as figuras 25 e 26 percebe-se a relação direta entre a força exercida no escarificador e a profundidade que o mesmo está no solo. Também pode-se observar que há variações na força mesmo que a profundidade não se altere, o que pode ser explicado por variações no próprio solo movimentado pelo escarificador.

No segundo ensaio, o procedimento foi semelhante ao primeiro, com taxa de aquisição de dez amostras por segundo. Apresentam-se os dados correspondentes ao escarificador, ao profundímetro e a roda odométrica.

A entrada digital correspondente à roda odométrica só é registrada a cada dez linhas, pois é atualizada uma vez por segundo, comportando-se como um freqüencímetro.

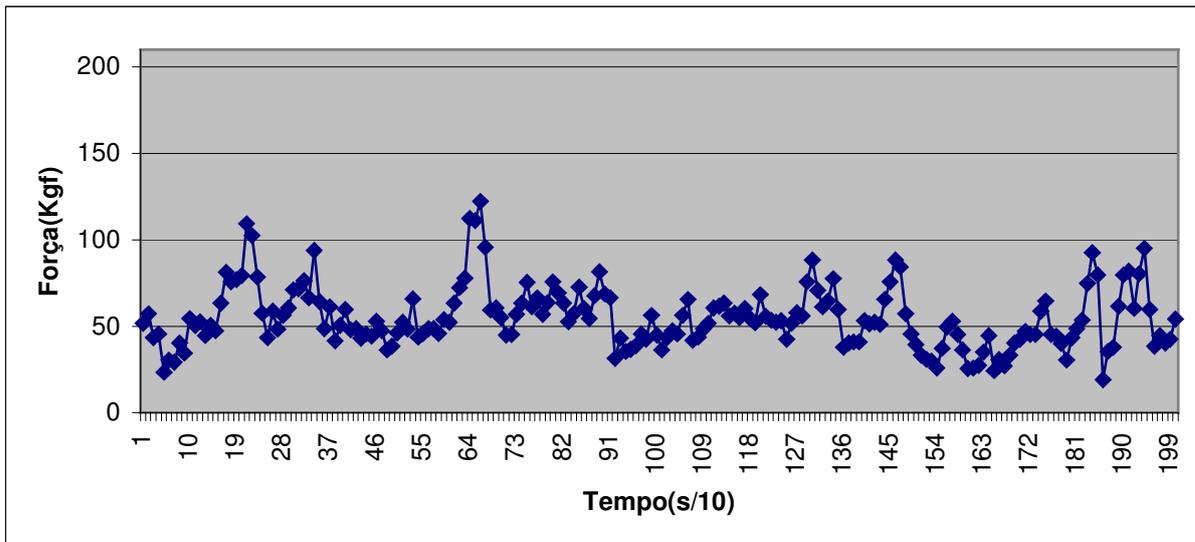
**Tabela 7: Dados obtidos no segundo ensaio (10 Hz)**

A m o s t r a 2	(Número da amostra)		
1 9 / 0 7 / 0 5	(Data da amostra)		
1 7 : 2 4 : 4 6	(Hora universal)		
3 0 0 5 . 5 8 4 8 , S	0 5 1 4 0 . 5 9 8 9 , W		
		roda	
	escarificadorprofundímetro	odométrica	
	1223	903	
	1267	902	
	1159	878	
	1175	879	
	999	927	
	1055	927	
	1046	911	
	1134	887	
	1089	855	
	1246	903	11
	1215	871	
	1231	879	
	1167	879	
	1215	863	
	1190	863	
	1317	863	
	1457	895	
	1415	895	
	1423	903	
	1443	902	12

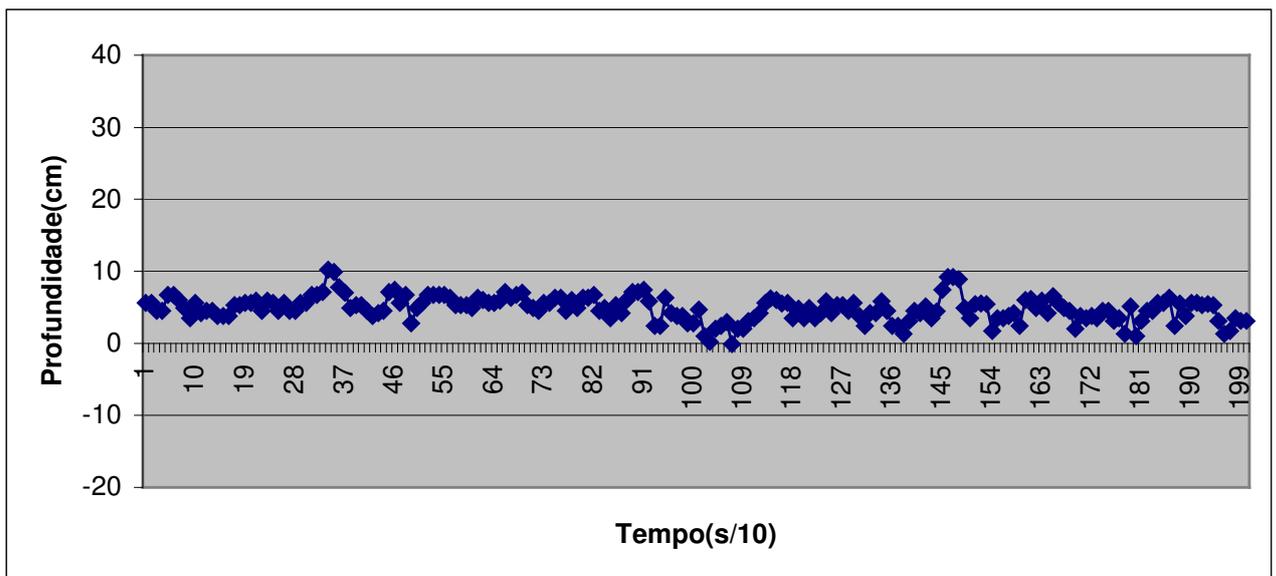
Para a tabela 7, foram gerados gráficos que são apresentados nas figuras 27 e 28:

Nas figuras 27 e 28 pode-se observar que a profundidade da haste é menor do que no primeiro ensaio correspondendo à forças também menores.

A figura 29 representa um comparativo entre a taxa de aquisição de um por segundo e dez aquisições por segundo.

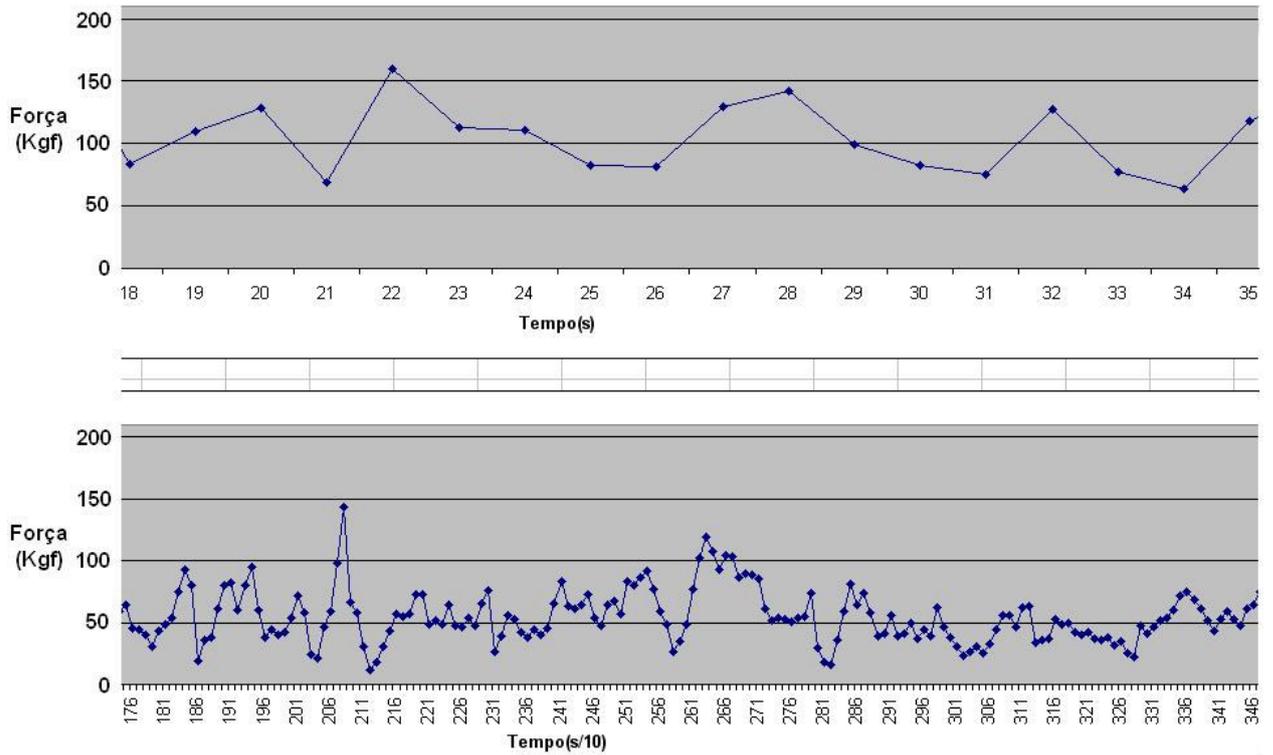


**Figura 27: Dados de força versus tempo obtidos no segundo ensaio (10 Hz)**



**Figura 28: Dados de profundidade versus tempo obtidos no segundo ensaio (10 Hz)**

Neste comparativo, considerando-se que a escala de tempo é a mesma, pode se observar que as variações na força exercida sobre o escarificador são realmente existentes e não podem ser observadas quando a taxa de aquisição é de apenas uma amostra por segundo.



**Figura 29: Comparativo entre taxas diferentes de aquisição**

Em um ensaio realizado no laboratório, verificou-se que o sistema desenvolvido nesta dissertação pode atingir a taxa de aquisição de 98 amostras por segundo para um canal analógico. Desta forma, é possível a sua aplicação com taxa de amostragem quase dez vezes maior que a apresentada no ensaio de campo descrito.

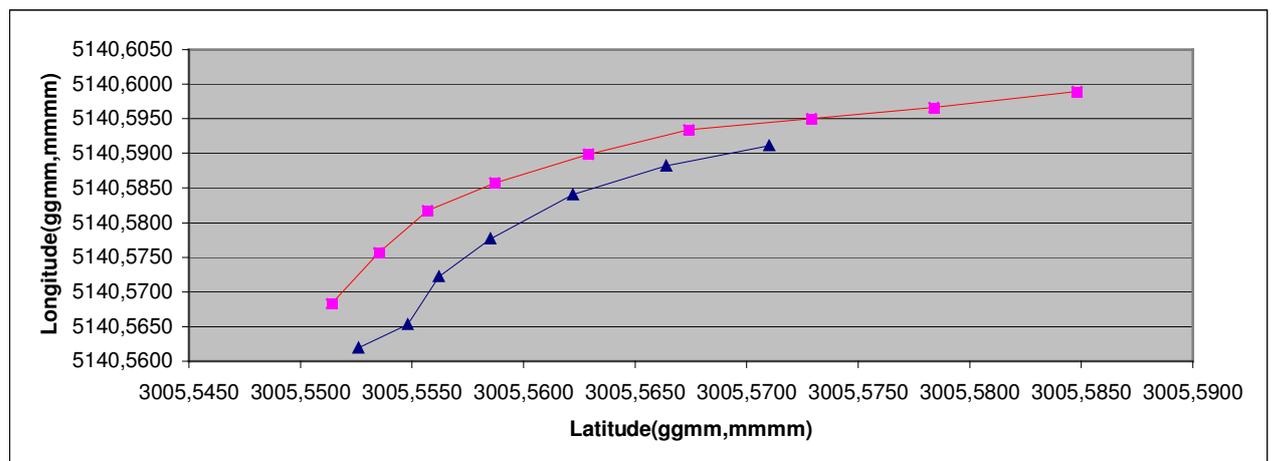
A tabela 8 apresenta um resumo das tabelas obtidas nos ensaios, nesta estão registradas as latitudes e longitudes dos pontos obtidos pelo receptor GPS.

Como auxílio deste tipo de tabela pode se gerar um mapa da trajetória de trabalho de cada máquina agrícola em um determinado campo. O mapa gerado com o auxílio de um software do tipo Microsoft Excel está representado na figura 30. Este mapa pode ser gerado por qualquer software gráfico, mas para aplicações agrícolas é importante desenvolver ou utilizar um software que possa correlacionar a posição geográfica com alguma grandeza de

interesse, como por exemplo, a produtividade, a quantidade de água, a resistência mecânica ou a presença de nutrientes.

**Tabela 8: Pontos onde foram realizadas as medidas que tiveram suas coordenadas registradas**

Amostra 1		
19/07/05		
Pontos 17:22:10		
1	3005.5526, S	05140.5619, W
2	3005.5548, S	05140.5653, W
3	3005.5562, S	05140.5722, W
4	3005.5585, S	05140.5777, W
5	3005.5622, S	05140.5840, W
6	3005.5664, S	05140.5882, W
7	3005.5710, S	05140.5911, W
Amostra 2		
19/07/05		
Pontos 17:24:46		
1	3005.5848, S	05140.5989, W
2	3005.5784, S	05140.5966, W
3	3005.5729, S	05140.5950, W
4	3005.5674, S	05140.5934, W
5	3005.5629, S	05140.5899, W
6	3005.5587, S	05140.5857, W
7	3005.5557, S	05140.5817, W
8	3005.5535, S	05140.5757, W
9	3005.5514, S	05140.5683, W



**Figura 30: Mapa obtido nos ensaios**

Neste mapa gerado visualizam-se os pontos triangulares, em azul, que foram obtidos no ensaio de uma aquisição por segundo, sendo o ponto inicial o situado à esquerda da página e o ponto final à direita. Os pontos quadrados, em vermelho, foram obtidos no retorno do veículo agrícola. Neste retorno, foi utilizado taxa de aquisição de dez amostras por segundo, resultando no ensaio dois. O primeiro ponto do ensaio dois é o da direita da página e o último é à esquerda. No ensaio dois, o tratorista passou na parte inferior de um degrau natural que existe no solo daquela área onde foram realizados os ensaios. Observa-se nos dados adquiridos e retratados no gráfico apresentado que este fato resultou num deslocamento horizontal entre os percursos da ida e da volta do conjunto agrícola.

Outra verificação realizada é a comparação da distância calculada através dos pontos fornecidos pelo receptor GPS e a distância fornecida pela roda odométrica. A tabela 9 apresenta os resultados desta comparação no ensaio com taxa de 1 hz e a tabela 10 apresenta os resultados obtidos no ensaio de 10 hz.

**Tabela 9: Comparativo entre deslocamento medido pela roda odométrica e diferença de posição do GPS no primeiro ensaio**

Pontos	Distância GPS (m)	Pulsos roda odométrica (m)	Distância odométrica (m)	Velocidade odométrica(Km.h <sup>-1</sup> )	Velocidade GPS (Km.h <sup>-1</sup> )
1 e 2	7,36	0	0,00	0,00	5,30
2 e 3	12,8	79	5,85	2,34	5,12
3 e 4	10,84	91	6,73	2,69	4,34
4 e 5	13,28	86	6,36	2,55	5,31
5 e 6	10,8	78	5,77	2,60	4,86
6 e 7	9,89	66	4,88	2,51	5,09

Tal fato ocorre porque a contagem de pulsos na roda odométrica é efetuada por *software*. Ou seja, cada pulso elétrico gerado pelo transdutor digital da roda odométrica provoca uma interrupção no processador e um registrador é incrementado. Enquanto ocorre a

leitura dos dados do GPS esta sub-rotina fica inativa, perdendo-se assim vários pulsos gerados. Nas conclusões sugere-se correções necessárias ao programa gerenciador das aquisições.

**Tabela 10: Comparativo entre deslocamento medido pela roda odométrica e diferença de posição do GPS no segundo ensaio**

Pontos	Distância GPS (m)	Pulsos roda odométrica (m)	Distância odométrica (m)	Velocidade odométrica(Km.h <sup>-1</sup> )	Velocidade GPS (Km.h <sup>-1</sup> )
1 e 2	12,36	124	9,18	3,00	4,05
2 e 3	10,42	97	7,18	2,87	4,17
3 e 4	10,42	96	7,10	2,56	3,75
4 e 5	10,37	98	7,25	2,90	4,15
5 e 6	10,8	99	7,33	3,30	4,86
6 e 7	9,09	85	6,29	2,52	3,64
7 e 8	11,62	109	8,07	2,90	4,18
8 e 9	13,99	107	7,92	2,59	4,58



**Figura 31: Momento em que os dados estavam sendo obtidos**

### 4.3 ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos apresentaram-se coerentes com o esperado; a força realizada pela haste no momento de corte do solo está dentro dos padrões obtidos pelo sistema atualmente em uso pelo grupo de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Com taxa de aquisição mais alta, pode-se observar a frequência de ruptura do solo, detalhe descrito na revisão bibliográfica desta dissertação.



**Figura 32: Transferência de dados obtidos no ensaio para o computador hospedeiro**

Os dados obtidos pelo receptor GPS apresentaram-se coerentes, pois conforme se visualiza no mapa, não houve nenhuma discrepância notável em qualquer ponto onde foram realizadas as medidas, além disso, as medições estáticas da posição através do receptor GPS apresentaram variações dentro dos limites previstos pelo fabricante do equipamento.

Observa-se também que no ensaio com taxa de aquisição de 1 Hz o valor médio da força é maior que no ensaio a 10 Hz. Verifica-se porém que no segundo ensaio a profundidade de inserção do escarificador no solo também foi menor que no primeiro.

## 5 CONCLUSÃO

Nesta dissertação implementou-se um sistema de aquisição de dados versátil, portátil, de tamanho reduzido, robusto, de operação autônoma e simples do ponto de vista do operador.

O equipamento desenvolvido atingiu o objetivo inicial de georeferenciar grandezas físicas do solo. Nos ensaios realizados neste trabalho limitou-se a registrar a resistência mecânica do solo ao movimento da haste de corte (escarificador), mas poderia se estender a outras grandezas, bastando para isso, utilizar sensores adequados.

A taxa de aquisição de dados requerida inicialmente foi alcançada e como se demonstrou poderia ser largamente ampliada se o número de canais lidos for reduzido.

Os levantamentos realizados com o registro de dados gerados pelo GPS permitiram acompanhar a trajetória do trator agrícola utilizado com fidelidade compatível às incertezas produzidas pelo instrumento.

Também procurou-se, conforme objetivo inicial, avaliar o custo deste equipamento. O custo de produção, sem contar os gastos com o desenvolvimento do mesmo, não ultrapassa o valor de mil reais com o receptor GPS incluso. Pode-se concluir que o mesmo é de custo reduzido comparado com outros equipamentos similares existentes no mercado. Assim sendo, poderia ser amplamente utilizado em aplicações agrícolas por pequenos e grandes produtores e também ser utilizado em pesquisas para desenvolvimento de novos produtos e novas técnicas em agricultura.

Cabe ainda apresentar um resumo das características do equipamento desenvolvido na aplicação apresentada:

- 1) Considerando que as entradas analógicas são convertidas para valores digitais em 12 bits (em função da remoção de ruído realizada por software nos 16 bits disponibilizados

pelo conversor), a força medida no escarificador poderia variar de 0 a 518 Newtons com resolução de 0,13 Newtons.

2) As leituras de profundidade de 0 a 35 cm podem ser conhecidas com resolução de 85 micrometros.

3) As entradas digitais lidas em intervalos de 1 em 1 segundo configuram dados registrados em frequência.

Cada uma das entradas utilizadas gera dados correspondentes às características dos transdutores a elas conectados. Logo para a definição dos valores reais em unidades físicas (força, deslocamento, etc...) devem sofrer conversões quando do tratamento dos dados adquiridos.

As entradas analógicas não são adquiridas exatamente no mesmo instante, pois o conversor analógico-digital é multiplexado. Como o tempo de conversão é de no máximo 25 microssegundos e a rotina de aquisição de cada um dos canais não consome mais do que 10 milissegundos, pode-se considerar que para taxas de aquisição de uma amostra por segundo as diferenças nos instantes da aquisição são desprezíveis. Esta consideração também pode ser justificada pela pequena variabilidade das grandezas adquiridas em aplicações agrícolas em intervalos de tempo tão pequenos.

Para corrigir os valores adquiridos nas entradas digitais deve-se realizar modificações no programa de aquisição ou mesmo destinar para este fim contadores de eventos independentes do *software*.

Conforme a análise realizada na validação dos dados obtidos a partir do GPS utilizado, conclui-se que não seria recomendável a geração de mapas da variabilidade das grandezas de interesse (produtividade, umidade, resistência ao corte, etc...) considerando como absolutas as leituras das coordenadas geográficas. Talvez por isso seja sempre indicado o uso de um

DGPS que deve reproduzir com menor variação as coordenadas geográficas de um mesmo ponto.

Sugere-se que pesquisas sejam efetuadas pelos usuários do GPS em aplicações agrícolas para verificar como se poderia georeferenciar com menor incerteza os pontos de interesse em áreas de manejo. Uma sugestão é de que em cada área (talhão) haja um ou mais marcos físicos (pedra, estaca, etc...) que servissem de referência para qualquer GPS utilizado em serviço.

Pelo que se verificou na literatura a maioria dos pesquisadores utiliza DGPS. Porém constatou-se que a variabilidade de indicação das coordenadas nos GPS mais recentes vem se reduzindo (Cappelli, 2004), mas há controvérsias, conforme se verifica em trabalhos publicados no capítulo quatro de Balastreire (2002).

## **5.1 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DO EQUIPAMENTO**

Este sistema possui múltiplas aplicações.

Para medida de produtividade o sistema desenvolvido poderia ser utilizado sem modificações, utilizando-se a carreta de descarga do produto colhido instrumentada com células de carga conforme se descreveu em 2.9.3.

O sistema também pode ser utilizado como unidade de aquisição e processamento para um penetrômetro ou perfilômetro, sendo, neste caso, utilizado pelo operador manualmente na configuração portátil, medindo o esforço ou o deslocamento em profundidade de uma haste dotada de uma ponta cônica padronizada. Pode-se utilizar o próprio LCD para apresentação de um gráfico compacto. Para tal aplicação seria necessário modificar o programa de aquisição existente no processador para apresentação dos dados colhidos diretamente no LCD.

Uma funcionalidade deste equipamento, que não foi implementada neste trabalho, é a aplicação de insumos a taxa variável. Neste caso o engenheiro agrônomo poderia enviar ao usuário um cartão de memória com dados sobre as quantidades a serem aplicadas, referenciadas geograficamente. Assim o sistema acoplado a uma máquina agrícola, com o auxílio do receptor GPS, controlaria os aplicadores de fertilizante ou herbicida, conforme a prescrição técnica. O aplicador de insumos poderia ser ativado por uma saída *Pulse Width Modulation* (PWM) por exemplo, produzida pelo equipamento construído, programando-se alguma das portas para esta finalidade. No entanto nestas aplicações seria recomendável, até prova em contrário, o uso de um DGPS para que se tenha melhor acompanhamento das coordenadas geográficas nas áreas de trabalho e aquelas previstas no mapa de programação.

Neste protótipo foram implementados vinte canais de entrada de dados. Em muitas aplicações o número de entradas necessárias é bem menor. Assim sendo, em caso de industrialização do equipamento para aquisições específicas o layout do mesmo poderia ser reconfigurado.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I. et al. On-The-Go Soil Sensors for Precision Agriculture. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 44, p 71 – 91, 2004.
- AUERNHAMMER, H. Precision Farming – The Environmental Challenge. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 30, p 31 – 43, 2001.
- BALASTREIRE, L.A. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no Período de 1999-2001. **Divisão de Biblioteca e Documentação ESALQ/USP**, Piracicaba, p 275 – 281, 2002.
- CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K.; CAMPOS, R. F. Push Cone Eletrônico de Baixo Custo para Estudo da Resistência Mecânica ao Desenvolvimento Radicular das Plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 5, n.3, p 525 – 529, 2001.
- CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K.; SILVEIRA, A. C.; GARCIA, A. P. Desempenho Comparativo dos Aparelhos GPS eTrex, III Plus e Ag GPS 132 Quanto a Acurácia e Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2004, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004.
- CARDOSO, J. et al. A Very Low-Cost Portable Multichannel Analyzer. **IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record**, 2000, v 2, p 164 – 167.
- CHEN, F. et al. Field Scale Mapping of Surface Soil Clay Concentration. **Precision Agriculture**, v 5, p 7 – 26, 2004.
- COLLARES, G. L. et al. Desenvolvimento e Funcionalidade de Um Penetrômetro de Cone com Taxa Constante de Penetração no Solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Santa Maria: UFSM, 2004.
- COX, S. Information Technology: The Global Key to Precision Agriculture and Sustainability. **Computers and eletronics in agriculture**, Elsevier, v 36, p 93 – 111, 2002.
- DURÁN G., H. M. Efecto De Las Propiedades Fisicas en La Falla De un Suelo de Textura Franca Analisis de La Longitud de Onda y La Distancia Pico-Pico. **Terra Latinoamericana**, v.20, n.3, p 235 – 241, 2002.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” / USP - A Pesquisa com Agricultura de Precisão na ESALQ/USP. Disponível em:  
<<http://www.ciagri.usp.br/~leia/resumo.htm>> Consultado em 28 de setembro de 2004.
- FACULDADE DE AGRONOMIA DA UFRGS, PÁGINA Inicial da. Disponível em:  
<<http://www6.ufrgs.br/agronomia/eea.htm>> Consultado em 11 de julho de 2005.

GODDARD, T. What is precision farming? In: PRECISION FARMING CONFERENCE, 1997, TABER, ALBERTA, CANADA, **Proceedings**. Disponível em: <[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/sag1951](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/sag1951)> Consultado em 15 de setembro de 2004.

HUMMEL, J. W.; SUDDUTH, K. A.; HOLLINGER, S. E. Soil Moisture and Organic Matter Prediction of Surface and Subsurface Soils Using a NIR Sensor. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 32, p 149 – 165, 2001.

KUSHWAHA, R. L.; KARMAKAR, S.; STILLING, D. S. D. Propagation of Soil Failure Front Associated with Various Agricultural Tillage Tools. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, **Proceedings**, Las Vegas, 2003.

LECHNER, W.; BAUMANN, S. Global Navigation Satellite Systems. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 25, p 67 – 85, 2000.

MÉDICI, R. N. **Posicionamento & Orientação**. Rio de Janeiro: CATATAU, 2003, 110p.

MOGHAVVEMI, M. et al. A Simple Low Cost Data Acquisition System for Remote Sensing of Relative Humidity and Temperature. In: IEEE MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 44., 2001, Dayton. **Proceedings**. Dayton: IEEE, 2001.

NEMÉNYI, M. et al. The Role of GIS and GPS in Precision Farming. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 40, p 45 – 55, 2003.

NATIONAL MARINE ELETRONICS ASSOCIATION (NMEA), PÁGINA Inicial de. Disponível em: <<http://www.nmea.org/pub/0183/>> Consultado em 19 de janeiro de 2005.

PELLETIER, G., UPADHAYAYA, S. K. Development of a Tomato Load/Yield Monitor. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 23, p 103 – 117, 1999.

PROJEÇÃO de Mapas. (Coordenadas UTM). Disponível em: <[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html)> Consultado em 13 de setembro de 2005.

SANTOS, C.A.; LANÇAS, K. P. Projeto e Construção de um Penetrômetro Hidráulico-Eletrônico. **Energia na Agricultura**, v 14, n. 4, p 55 – 61, 2003.

SCHUELLER, J. K. et al. Low-Cost Automatic Yield Mapping in Hand-Harvested Citrus. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 23, p 145 – 153, 1999.

SIRJACOBS, D. et al. On-Line Soil Mechanical Resistance Mapping and Correlation with Soil Physical Properties for Precision Agriculture. **Soil & Tillage Research**, v 64, p 231 – 242, 2002.

SISTEMA de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>> Consultado em 12 de setembro de 2005.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21 St Century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v 76, p 267 – 275, 2000.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de Preparo do Solo na Cultura do Milho e Ressemeadura do Trevo, na Rotação Aveia + Trevo/Milho, Após Pastejo Intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p 105-11, 1991.

TYNDALE-BISCOE, J.; MOORE, G. A.; WESTERN, A. W. A System for Collecting Spatially Variable Terrain Data. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 19, p 113 – 128, 1998.

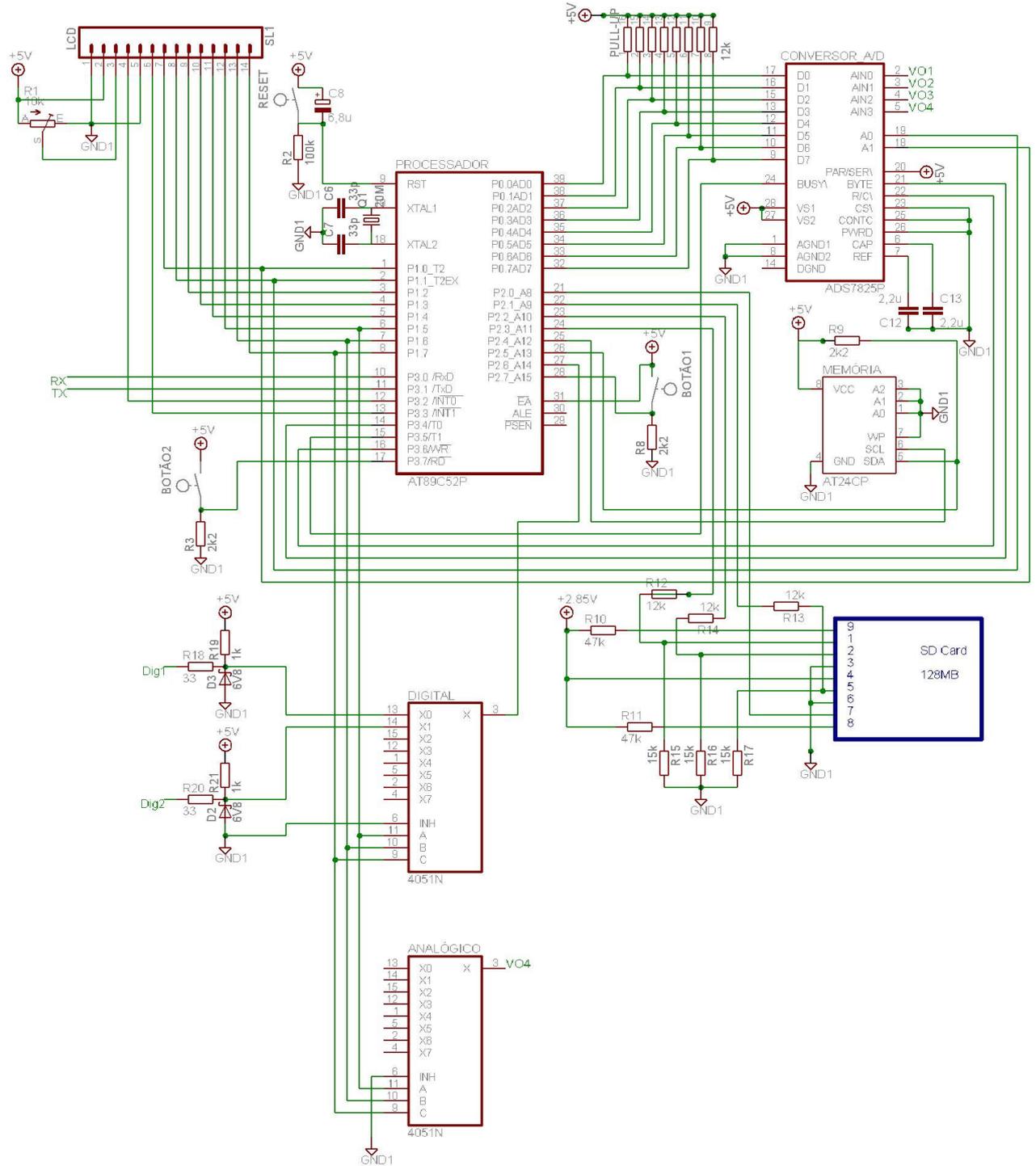
YULE, I. J.; KOHNEN, G.; NOWAK, M. A Tractor Performance Monitor with DGPS Capability. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 23, p 155 – 174, 1999.

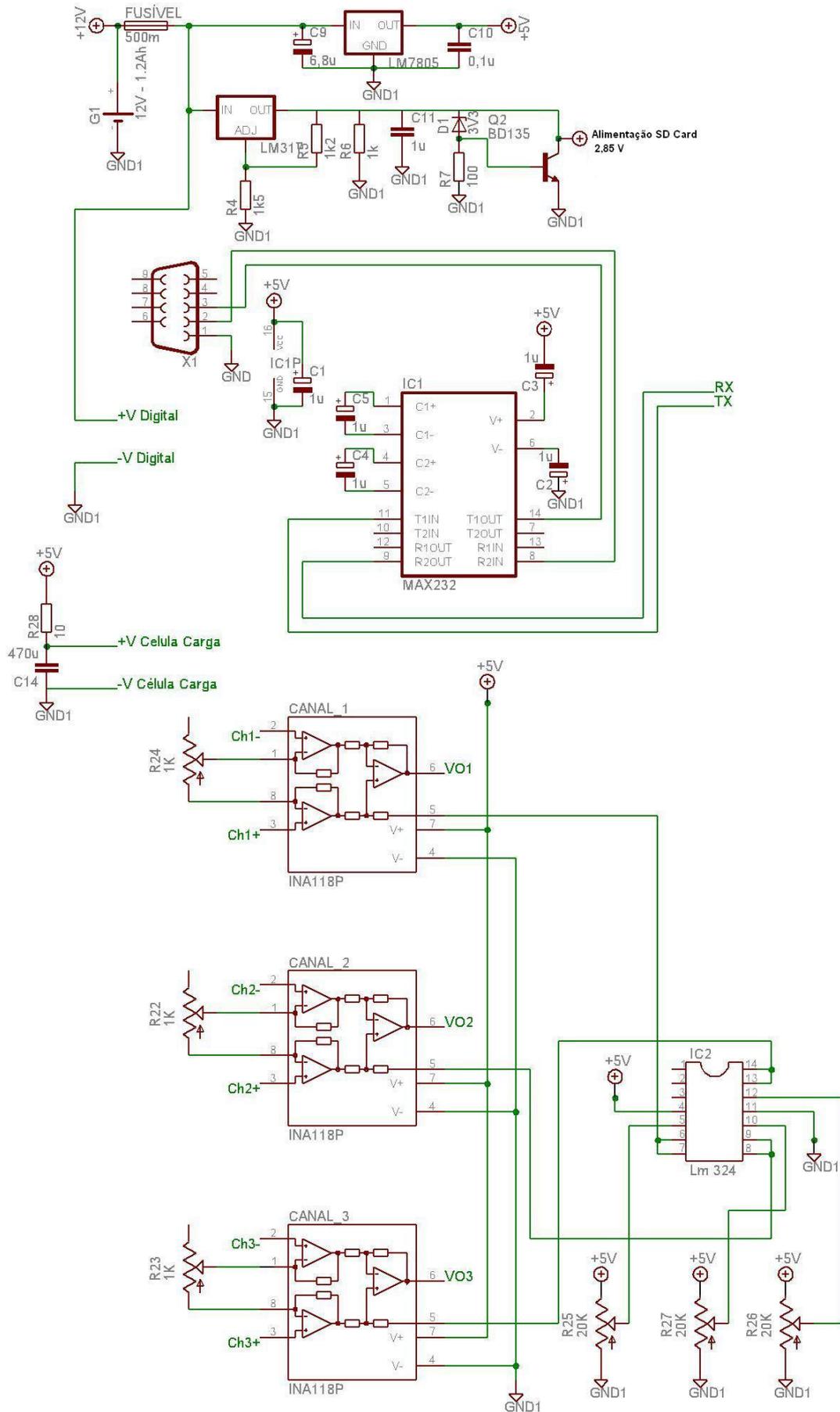
ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision Agriculture – A Worldwide Overview. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Elsevier, v 36, p 113 – 132, 2002.

## APÊNDICE A:

Esquema elétrico do equipamento

## APÊNDICE A: Esquema elétrico do equipamento





APÊNDICE B:

Listagem do *Software*

## APÊNDICE B: Listagem do *Software*

### Sub-rotina principal

```
//Bibliotecas

#include <at89x52.h>
#include <stdio.h>

//Definição dos pinos de E/S

#define BUS P1 //Barramento de dados do LCD
#define AD P0 //Entrada paralela do AD por P0
#define EN P3_3 //Enable (habilita) do LCD
#define RS P3_2 //Pino RS (dado-instrução) do LCD
#define ENTDIG P2_6 //Entrada de dados Digitais
#define B1 P2_7 //Botão 1
#define B2 P3_7 //Botão 2
#define END0 P1_5 //Endereço 0 (menos significativo) do Multiplex
#define END1 P1_6 //Endereço 1 do Multiplex*/
#define END2 P1_7 //Endereço 2 (mais significativo)do Multiplex
#define A0 P1_1 //Endereço 0 (menos significativo) do AD
#define A1 P1_0 //Endereço 1 (mais significativo) do AD
#define RC P3_6 //Entrada READ-CONVERT do AD
#define BUSY P3_5 //Saída Convertendo do AD
#define BYTE P3_4 //Seleção entre (Low) 8MSb e (high) 8LSb do AD

//Memória SD Card

#define CS P2_3 //Chip Select da Memória
#define DO P2_2 //Entrada de dados da Memória
#define CLK P2_1 //Clock da Memória
#define DI P2_0 //Saída de dados da Memória

//Memória 24C08

#define SDA P2_5 //Entrada e Saída de dados da Memória
#define SCL P2_4 //Clock da Memória

//Alocação de Memória Dinâmica

unsigned char gps = 1; //sinaliza leitura GPS
unsigned char gps1 = 0; //números de pondas marcador GPS
unsigned char corrida = 0; //número de corridas
unsigned char ina = 3; //sinaliza leitura ina
unsigned char ana = 1; //sinaliza leitura analógica
unsigned char dig = 2; //sinaliza leitura digital
unsigned char taxa1 = 1; //sinaliza taxa de aquisição
unsigned int i = 0; //utilizado nos "for"
unsigned int j = 0; //utilizado nos "for"
unsigned char dado_8 = 0; //dado_8 8 bits
unsigned char flag = 0; //não sei quem usa
unsigned char dig1 = 0; //registrador entrada digital 1
unsigned char dig2 = 0; //registrador entrada digital 2
```

```

unsigned int pont = 0;           //ponteiro memória eeprom
unsigned int t = 1;             //utilizado nos "while"
unsigned int timer;             //timer variável
unsigned int timer1;            //taxa de recarga do timer
unsigned int resp1;             //resp 16 bits do A/D
unsigned char resp_H;           //resp 8 bits mais significativos A/D
unsigned char resp_L;           //resp 8 bits menos significativos A/D
unsigned long SD_END=0;         //endereço atual do SD Card
unsigned long SD_END1=0;        //endereço atual do SD Card 1
char a[40];                     //dados do GPS
bit d1 = 0;                     //auxilio na leitura de dig1
bit d2 = 1;                     //auxilio na leitura de dig2
unsigned char d;

```

```
//Bibliotecas das funções específicas do equipamento
```

```

#include <delay.c>
#include <lcd.c>
#include <ad.c>
#include <gps.c>
#include <eeprom256.c>
#include <sd.c>

main()
{
    lcd_init();

    sd_init();

    // Configuração Porta Serial

    EA = 0x00;
    ES = 0;
    TR1 = 0;
    TMOD |= 0x20;
    TL1 = 0xEA;
    TH1 = 0xEA;
    TR1 = 1;
    PCON = 0x80;
    SCON = 0x50;
    RI = 1;
    TI = 1;
    ES = 1;

    //

    // Inicialização do A/D

    RC = 1;

    //

    //Primeira tela 3 segundos//

    sprintf(lcd,"f    IEE    ");
    lcd_update();
    sprintf(lcd,"\n UFRGS    2005 ");
    lcd_update();
    delay_ms(2000);

```

```

//Segunda tela 3 segundos//

sprintf(lcd, "\f Projeto Mestrado");
lcd_update();
sprintf(lcd, "\nRafael Dagostini");
lcd_update();
delay_ms(2000);

sprintf(lcd, "\rDeseja Mapear? ");
lcd_update();
sprintf(lcd, "\nSim      Nao");
lcd_update();
delay_ms(500);
t=0;
while(t<20)
{
    //Função Mapear//

    if (B2==1)
        t=21;
    if (B1==1)
    {
        while(1)
        {
            pont=0;
            t=0;
            while(t<10)
            {
                sprintf(lcd, "\rMapear      ");
                lcd_update();
                sprintf(lcd, "\nMarcar Finalizar");
                lcd_update();
                delay_ms(500);
                if (B2==1)
                    t=11;
                if (B1==1)
                {
                    sprintf(lcd, "\rLendo GPS... ");
                    lcd_update();
                    sprintf(lcd, "\n      ");
                    lcd_update();
                    read_gps();
                    if(gps1>40)
                    {
                        sprintf(lcd, "\rMemoria      ");
                        lcd_update();
                        sprintf(lcd, "\nCheia... ");
                        lcd_update();
                        delay_ms(2000);
                        t=11;
                    }
                }
                else
                {
                    t=0;

                    gps1=gps1++;
                    sprintf(lcd, "\rMarcando... ");
                    lcd_update();
                }
            }
        }
    }
}

```



```

t=0;
while (t<20)
{
    if (B2==1)
    {
        gps=0;
        t=21;
    }
    if (B1==1)
    {
        gps=1;
        t=21;
    }
}
if (gps==1)
{
    sprintf(lcd,"f Com GPS ");
    lcd_update();
}
if (gps==0)
{
    sprintf(lcd,"f Sem GPS ");
    lcd_update();
}

//Escreve Memória eeprom//

dado_8 = gps;
pont = 1015;
write_eeprom(pont,dado_8);

//

delay_ms(2000);

//Seleciona Número de Células de Carga//

sprintf(lcd,"f N.Celulas Carga?");
lcd_update();
sprintf(lcd,"nProx. %bu Incr.",ina);
lcd_update();

t=0;
while (t<20)
{
    if (B1==1)
        t=21;
    if (B2==1)
    {
        if (ina==3)
            ina=-1;
        ina=ina+1;
    }
    sprintf(lcd,"nProx. %bu Incr.",ina);
    lcd_update();
    delay_ms(250);
}

sprintf(lcd,"f %bu Celulas Carga",ina);

```

```

lcd_update();

//Escreve Memória eeprom//

dado_8 = ina;
pont = 1016;
write_eeprom(pont,dado_8);

//

delay_ms(2000);

//Seleciona Número de Entradas Analógicas//

sprintf(lcd, "\f Ent Analogica?");
lcd_update();
sprintf(lcd, "\nProx. %bu Incr.", ana);
lcd_update();

t=0;
while (t<20)
{
    if (B1==1)
        t=21;
    if (B2==1)
    {
        if (ana==1)
            ana=-1;
        ana=ana+1;
    }
    sprintf(lcd, "\nProx. %bu Incr.", ana);
    lcd_update();
    delay_ms(250);
}

sprintf(lcd, "\f %bu Ent Analogicas", ana);
lcd_update();

//Escreve Memória eeprom

dado_8 = ana;
pont = 1017;
write_eeprom(pont,dado_8);

//

delay_ms(2000);

//Seleciona Número de Entradas Digitais//

sprintf(lcd, "\f Ent Digitais?");
lcd_update();
sprintf(lcd, "\nProx. %bu Incr.", dig);
lcd_update();

t=0;
while (t<20)
{
    if (B1==1)

```

```

        t=21;
        if (B2==1)
        {
            if (dig==2)
                dig=-1;
            dig=dig+1;
        }
    sprintf(lcd,"\nProx. %2bu  Incr.",dig);
    lcd_update();
    delay_ms(250);
}

sprintf(lcd,"\f %2bu Ent Digitais ",dig);
lcd_update();

//Escreve Memória eeprom

dado_8 = dig;
pont = 1018;
write_eeprom(pont,dado_8);

//

delay_ms(2000);

//Seleciona a taxa de Aquisição (Leituras por segundo)//

sprintf(lcd,"\f Taxa Aquisicao? ");
lcd_update();
sprintf(lcd,"\nProx. %2bu  Incr.",taxa1);
lcd_update();

t=0;
while (t<20)
{
    if (B1==1)
        t=21;
    if (B2==1)
    {
        if (taxa1==10)
            taxa1=1;
        else
            taxa1=10;
    }
    sprintf(lcd,"\nFinal %2bu  Incr.",taxa1);
    lcd_update();
    delay_ms(400);
}

sprintf(lcd,"\f %2bu Aquisicoes/s ",taxa1);
lcd_update();

//Escreve Memória eeprom

dado_8 = taxa1;
pont = 1019;
write_eeprom(pont,dado_8);

```

```

//
delay_ms(2000);
    }
delay_ms(200);
t=t+1;
}

//Lê Memória eeprom

pont=1015;
gps=read_eeprom(pont);
pont=1016;
ina=read_eeprom(pont);
pont=1017;
ana=read_eeprom(pont);
pont=1018;
dig=read_eeprom(pont);
pont=1019;
taxa1=read_eeprom(pont);

pont=1020;
SD_END1 = 0;
SD_END1 = read_eeprom(pont);
SD_END = SD_END1<<24;
pont=1021;
SD_END1 = 0;
SD_END1 = read_eeprom(pont);
SD_END = SD_END + SD_END1<<16;
pont=1022;
SD_END1 = 0;
SD_END1 = read_eeprom(pont);
SD_END = SD_END + SD_END1<<8;
pont=1023;
SD_END1 = 0;
SD_END1 = read_eeprom(pont);
SD_END = SD_END + SD_END1;
corrida=read_eeprom(1014);

sprintf(lcd,"f Configurado!!! ");
lcd_update();
sprintf(lcd,"\n%bu %bu %bu %bu %2bu ",gps,ina,ana,dig,taxa1);
lcd_update();
delay_ms(2000);

pont=0;

//Inicio do Programa//

while(1)
{
    inicio:
        if(SD_END>250000)
        {
            sprintf(lcd,"\rSD Card Cheio!!!");
            lcd_update();
            sprintf(lcd,"\nTransfiraDados!!!");
            lcd_update();
            delay_ms(5000);
        }
}

```

```

}
sprintf(lcd, "\rIniciar Amostra?");
lcd_update();
sprintf(lcd, "\nSim   Opcoes");
lcd_update();
delay_ms(500);
t=0;
while (t<20)
{
    if (B1==1)
        t=21;
    if (B2==1)
    {
        t=0;
        while (t<10)
        {
            sprintf(lcd, "\rTransferirDados?");
            lcd_update();
            sprintf(lcd, "\nSim   Prox.");
            lcd_update();
            delay_ms(500);
            if (B1==1)
            {
                t=0;
                while (t<5)
                {
                    sprintf(lcd, "\rTransferindo... ");
                    lcd_update();
                    sprintf(lcd, "\n          ");
                    lcd_update();
                    delay_ms(500);
                    SBUF=0;
                    while(getchar()!='c');
                    d = SD_END;
                    sprintf(lcd, "\rF%bu", d);
                    lcd_update();
                    printf("%c", d);
                    if(d!=0)
                    {
                        for(j=0;j<d;j++)
                        {
                            read_sd(j);
                            i=0;
                            while(i<512)
                            {
                                printf("%c",
                                    read_eeprom(i));
                                i++;
                            }
                        }
                    }
                    sprintf(lcd, "\rTransferencia ");
                    lcd_update();
                    sprintf(lcd, "\nCompleta! ");
                    lcd_update();
                    delay_ms(2000);
                    pont=0;

                    corrida=0;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        t=6;
    }
}
if (B2==1)
{
    t=0;
    while (t<5)
    {
        sprintf(lcd,"\rApagar Memoria? ");
        lcd_update();
        sprintf(lcd,"\nSim      Sair");
        lcd_update();
        delay_ms(500);

        if (B2==1)
            t=21;
        if (B1==1)
        {
            t=0;
            while (t<5)
            {
                sprintf(lcd,"\rApagando...  ");
                lcd_update();
                sprintf(lcd,"\n
                Parar");
                lcd_update();
                delay_ms(500);
                erase_sd(0,250000);
                pont=1014;
                write_eeprom(pont,0);
                pont=1020;
                write_eeprom(pont,0);
                pont=1021;
                write_eeprom(pont,0);
                pont=1022;
                write_eeprom(pont,0);
                pont=1023;
                write_eeprom(pont,0);
                SD_END=0;
                corrida=0;
                pont=0;
                t=6;
                if (B2==1)
                    t=21;
            }
        }
    }
}
}
goto inicio;
}
}
t=0;
while(t<20)
{

```

```

corrida=corrida++;

flag=read_eeprom(1019);

write_eeprom(pont,'A');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'m');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'o');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'s');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'t');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'r');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'a');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,'R');
pont=pont++;
write_eeprom(pont,0);
pont=pont++;
write_eeprom(pont,corrida);
pont=pont++;
write_eeprom(pont,13);
pont=pont++;

sprintf(lcd,"\rAdquirindo...%3bu",corrida);
lcd_update();
sprintf(lcd,"\n   Finalizar");
lcd_update();

//Leitura de GPS//

if(gps==1)
{
    sprintf(lcd,"\rLendo GPS...   ");
    lcd_update();
    sprintf(lcd,"\n           ");
    lcd_update();
    read_gps();
    for(i=35;i<42;i++)
    {
        write_eeprom(pont,a[i]); //data dd/mm/aa
        pont=pont++;
    }
    write_eeprom(pont,13); //nova linha
    pont=pont++;

    for(i=0;i<6;i++)
    {
        write_eeprom(pont,a[i]); //hora universal
        pont=pont++;
    }
    write_eeprom(pont,13); //nova linha
    pont=pont++;

    for(i=9;i<33;i++)
    {

```

```

        write_eeprom(pont,a[i]); //latitude/longitude
        pont=pont++;
    }
    write_eeprom(pont,13);
    pont=pont++;
    sprintf(lcd,"\rAdquirindo...%3bu",corrida);
    lcd_update();
    sprintf(lcd,"\nGPS Finalizar");
    lcd_update();
}
while(t<10)
{
    if(B2==1)
    {
        sprintf(lcd,"\rAguarde... ");
        lcd_update();
        sprintf(lcd,"\nSalvando Dados ");
        lcd_update();
        for(i=pont;i<512;i++)
            write_eeprom(i,0);
        write_sd(SD_END);
        SD_END=SD_END++;
        for(i=0;i<512;i++)
            write_eeprom(i,0);

        pont=1014;
        write_eeprom(pont,corrida);

        pont=1020;
        SD_END1=SD_END>>24;
        write_eeprom(pont,SD_END1);

        pont=1021;
        SD_END1=SD_END>>16;
        write_eeprom(pont,SD_END1);

        pont=1022;
        SD_END1=SD_END>>8;
        write_eeprom(pont,SD_END1);

        pont=1023;
        SD_END1=SD_END;
        write_eeprom(pont,SD_END1);
        pont=0;

        t=21;

    }

    //Leitura de Ina 118//

    if(ina>0&&flag>0)
    {
        write_eeprom(pont,'R');
        pont=pont++;
        resp1=read_ad(0);
        resp_H=resp1>>8;
    }
}

```

```

        resp_H=resp_H&255;
        write_eeprom(pont,resp_H);
        pont=pont++;
        resp_L=resp1&255;
        write_eeprom(pont,resp_L);
        pont=pont++;
        write_eeprom(pont,',');
        pont=pont++;
    }

if(ina>1&&flag>0)
{
    write_eeprom(pont,'R');
    pont=pont++;
    resp1=read_ad(1);
    resp_H=resp1>>8;
    resp_H=resp_H&255;
    write_eeprom(pont,resp_H);
    pont=pont++;
    resp_L=resp1&255;
    write_eeprom(pont,resp_L);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,',');
    pont=pont++;
}
if(ina>2&&flag>0)
{
    write_eeprom(pont,'R');
    pont=pont++;
    resp1=read_ad(2);
    resp_H=resp1>>8;
    resp_H=resp_H&255;
    write_eeprom(pont,resp_H);
    pont=pont++;
    resp_L=resp1&255;
    write_eeprom(pont,resp_L);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,',');
    pont=pont++;
}
//Leitura de entradas analógicas//

if(ana>0&&flag>0)
{
    write_eeprom(pont,'R');
    pont=pont++;
    resp1=read_ex_ad(0);
    resp_H=resp1>>8;
    resp_H=resp_H&255;
    write_eeprom(pont,resp_H);
    pont=pont++;
    resp_L=resp1&255;
    write_eeprom(pont,resp_L);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,',');
    pont=pont++;
}
}

```

```

flag=flag-1;

//Leitura de entradas digitais//
dig1=0;
dig2=0;
if(taxa1==1)
    timer1=65000;
else
{
    if(flag!=0)
    {
        write_eeprom(pont,13);
        pont=pont++;
    }
    timer1=1000;
}
timer=0;
while(timer<timer1)
{
    if(dig>0)
    {
        if(read_ex_dig(0)==!d1)
        {
            dig1=dig1++;
            d1=read_ex_dig(0);
        }
    }
    if(dig>1)
    {
        if(read_ex_dig(1)==!d2)
        {
            dig2=dig2++;
            d2=read_ex_dig(1);
        }
    }
    timer++;
}
if(flag==0)
{
    dig1=dig1/2;
    dig2=dig2/2;
    write_eeprom(pont,'R');
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,0);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,dig1);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,',');
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,'R');
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,0);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,dig2);
    pont=pont++;
    write_eeprom(pont,13); //nova linha
    pont=pont++;

    flag=read_eeprom(1019);
}

```

```

}
if(gps==1)
{
    if(B1==1)
    {
        sprintf(lcd,"\rLendo GPS... ");
        lcd_update();
        sprintf(lcd,"\n          ");
        lcd_update();
        read_gps();
        for(i=9;i<33;i++)
        {
            write_eeprom(pont,a[i]); //latitude/longitude
            pont=pont++;
        }
        write_eeprom(pont,13);
        pont=pont++;
        sprintf(lcd,"\rAdquirindo...%3bu",corrida);
        lcd_update();
        sprintf(lcd,"\nGPS Finalizar");
        lcd_update();
    }
}

if(pont>460) //escreve no SD Card
{
    for(i=pont;i<512;i++)
    {
        write_eeprom(i,0);
    }
    write_sd(SD_END);
    SD_END=SD_END++;
    pont=0;
}
if(SD_END>250000)
{
    sprintf(lcd,"\rSD Card Cheio!!!");
    lcd_update();
    sprintf(lcd,"\n Reinicie ");
    lcd_update();
    while(1);
}

}

t=21;
}

}
}

```

## Sub-rotina para geração de atrasos

```

delay_us (unsigned int Nus )          // Delay aproximado em microSegundos
{
    while(Nus>0) Nus--;
}

delay_ms (unsigned int Nms )          // Delay aproximado em miliSegundos
{
    unsigned char t;
    while(Nms--)
        for(t=0; t<174; t++);
}

```

## Sub-rotina para escrita do *display* LCD

```

#define cursor_liga lcd_dado(0x0E, 0)
#define cursor_desliga lcd_dado(0x0C, 0)
#define cursor_piscante lcd_dado(0x0D, 0)
#define cursor_alter lcd_dado(0x0F, 0)
const unsigned char code lcd_tab[32] = {0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
                                         0x01, 0x03, 0x07, 0x07,
0x03, 0x01, 0x00, 0x00, // <
                                         0x1F, 0x11, 0x11, 0x11,
0x1F, 0x00, 0x00, 0x00, // []
                                         0x1F, 0x1F, 0x1F, 0x1F,
0x1F, 0x00, 0x00, 0x00}; // [x]
unsigned char idata lcd[32];

lcd_dado(unsigned char dado, bit modo)
{
    RS = modo;
    BUS = dado;
    delay_us(100);
    EN = 1;
    delay_us(100);
    EN = 0;
}

lcd_putc(unsigned char carac)
{
    switch (carac)
    {
        case '\f':
            lcd_dado(0x01, 0); break;
        case '\n':
            lcd_dado(0xC0, 0); break;
        case '\r':
            lcd_dado(0x80, 0); break;
        default:
            lcd_dado(carac, 1); break;
    }
}

lcd_update()
{

```

```

unsigned char i = 0;
while(1)
{
    if(lcd[i] != 0)    lcd_putc(lcd[i]);
    else break;
    i++;
}
for (i=0; i<32; i++)
{
    lcd[i] = ' ';
}
}

lcd_gotoxy(unsigned char x, unsigned char y)
{
    switch (y)
    {
        case 1:
            lcd_dado(0x7F + x, 0); break;
        case 2:
            lcd_dado(0xBF + x, 0); break;
    }
}

lcd_init()
{
    unsigned char i;
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x38, 0);
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x38, 0);
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x06, 0);
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x0E, 0);
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x01, 0);
    delay_ms(15);
    lcd_dado(0x40, 0);
    for (i=0; i<32; i++)
        lcd_dado(lcd_tab[i], 1);
}

```

### **Sub-rotina para leitura do conversor analógico-digital**

```

unsigned int read_ad(unsigned char a)
{
    unsigned int resp;
    A0 = a&1;
    A1 = a&2;
    BYTE = 0;
    delay_us(1);
    RC = 0;
    delay_us(1);
    RC = 1;
    while(!BUSY);
    delay_us(1);
    RC = 0;
}

```

```

delay_us(1);
RC = 1;
while(!BUSY);
resp = AD<<8;
BYTE = 1;
resp = resp + AD;
resp = resp>>2;
resp = resp&4095;
return resp;
}

```

```

unsigned int read_ex_ad(unsigned char a)
{
    unsigned int resp;
    A0 = 1;
    A1 = 1;
    END0 = a&1;
    END1 = a&2;
    END2 = a&4;
    BYTE = 0;
    delay_us(1);
    RC = 0;
    delay_us(1);
    RC = 1;
    while(!BUSY);
    delay_us(1);
    RC = 0;
    delay_us(1);
    RC = 1;
    while(!BUSY);
    resp = AD<<8;
    BYTE = 1;
    resp = resp + AD;
    resp = resp>>2;
    resp = resp&4095;
    return resp;
}

```

```

unsigned int read_ex_dig(unsigned char a)
{
    unsigned int resp;
    END0 = a&1;
    END1 = a&2;
    END2 = a&4;
    delay_us(1);
    resp = ENTDIG;
    return resp;
}

```

## Sub-rotina para leitura do receptor GPS

```

void read_gps(void)
{
    t=0;
    RI=0;
    while (!RI && t<65520)
        {

```

```

        t=t++;
    }

    if(t==65520)
    {
        sprintf(lcd,"\f ERRO!!!! ");
        lcd_update();
        sprintf(lcd,"\nGPS DESCONECTADO");
        lcd_update();
        delay_ms(3000);
        a[0]='D';
        for(i=1;i<41;i++)
            a[i]='0';
    }

    else
    {
        t=0;
        while (t<65530)
        {
            RI=0;
            SBUF=0;
            if(getchar()=='$')
            {
                if(getchar()=='G')
                {
                    if(getchar()=='P')
                    {
                        if(getchar()=='R')
                        {
                            if(getchar()=='M')
                            {
                                if(getchar()=='C')
                                {
                                    while(!RI);
                                    RI=0;
                                    SBUF=0;
                                    for(i=0;i<6;i++)
                                    {
                                        a[i]=getchar();           //hora
                                    }

                                    if(a[1]=='V')
                                        t=65530;

                                    a[6]=': ';
                                    while(!RI);           //não lido
                                    RI=0;
                                    a[7]=getchar();

                                    a[8]=': ';

                                    while(!RI);
                                    RI=0;
                                    if(t<65525)
                                    {
                                        for(i=9;i<20;i++)
                                        {

```



## Sub-rotina para leitura e escrita na memória auxiliar

```

stop_condition()
{
    SDA = 0;
    SCL = 1;
    SDA = 1;
}

start_condition()
{
    SDA = 0;
    SCL = 0;
}

bit verifi_ack()
{
    SDA = 1;
    SCL = 1;
    if (SDA == 0)
    {
        SCL = 0;
        return 1;
    }
    else
    {
        SCL = 0;
        return 0;
    }
}

i2c_write(unsigned char dado)
{
    unsigned char giratorio = 128;
    unsigned char i;
    for (i=0; i<8; i++)
    {
        SDA = dado & giratorio;
        giratorio = giratorio / 2;
        SCL = 1;
        SCL = 0;
    }
}

unsigned char i2c_read()
{
    unsigned char giratorio = 128;
    unsigned char dado = 0;
    unsigned char i;
    SDA = 1;
    for (i=0; i<8; i++)
    {
        SCL = 1;
        if (SDA) dado = dado|giratorio;
        giratorio = giratorio / 2;
        SCL = 0;
    }
}

```

```

    }
    return dado;
}

unsigned char read_eeprom(unsigned int endereco)
{
    unsigned char dado = 0;
    while(1)
    {
        start_condition();
        i2c_write(0xA0);
        if (!verifi_ack())
            stop_condition();
        else
        {
            i2c_write(endereco>>8);
            if(!verifi_ack())
                stop_condition();
            else
            {
                i2c_write(endereco);
                if(!verifi_ack())
                    stop_condition();
                else break;
            }
        }
    }
    SCL = 1;
    SDA = 1;
    while(1)
    {
        start_condition();
        i2c_write(0xA1);
        if (!verifi_ack())
            stop_condition();
        else
        {
            dado = i2c_read();
            if(verifi_ack())
                stop_condition();
            else
            {
                stop_condition();
                break;
            }
        }
    }
    return dado;
}

write_eeprom(unsigned int endereco, unsigned char dado)
{
    while(1)
    {
        SDA = 1;
        SCL = 1;
        start_condition();
        i2c_write(0xA0);

```



```

/* Set the write protection bit of the addressed group */
#define CMD28 28
/* Clear the write protection bit of the addressed group */
#define CMD29 29
/* Ask the card for the status of the write protection bits */
#define CMD30 30
/***** Erase commands *****/
/* Set the address of the first write block to be erased */
#define CMD32 32
/* Set the address of the last write block to be erased */
#define CMD33 33
/* Erase the selected write blocks */
#define CMD38 38
/***** Lock Card commands *****/
/* Commands from 42 to 54, not defined here */
/***** Application-specific commands *****/
/* Flag that the next command is application-specific */
#define CMD55 55
/* General purpose I/O for application-specific commands */
#define CMD56 56
/* Read the OCR (SPI mode only) */
#define CMD58 58
/* Turn CRC on or off */
#define CMD59 59
/***** Application-specific commands *****/
/* Get the SD card's status */
#define ACMD13 13
/* Get the number of written write blocks (Minus errors) */
#define ACMD22 22
/* Set the number of write blocks to be pre-erased before writing */
#define ACMD23 23
/* Get the card's OCR (SD mode) */
#define ACMD41 41
/* Connect or disconnect the 50kOhm internal pull-up on CD/DAT[3] */
#define ACMD42 42
/* Get the SD configuration register */
#define ACMD51 42

```

```
unsigned char SPI(unsigned char a)
```

```

{
    unsigned char r = 0;
    unsigned char giratorio = 128;
    unsigned char i;
    for (i=0;i<8;i++)
    {
        CLK = 1;
        DO = a&giratorio;
        CLK = 0;
        if(DI) r = r|giratorio;
        giratorio = giratorio>>1;
    }
    CLK = 1;
    DO = 1;
    return r;
}

```

```
bit write_sd(unsigned long block)
```

```

{
    unsigned int j;

```

```

    unsigned char i;
    bit r = 1;
    block = block * 512;
    CS = 0;
    SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
    SPI(0x58);
    SPI(block>>24);
    SPI(block>>16);
    SPI(block>>8);
    SPI(block);
    SPI(0x95);
    i=SPI(0xFF);
    while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);
    if(i!=0) return 0;
    SPI(0xFF);
    SPI(0xFE);
    for(j=0;j<=510;j++)
        SPI(read_eeeprom(j));
    i = 0xFF;
    while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);
    if ((i&7)!=5) r = 0;
    else r = 1;
    i = SPI(0xFF);
    while(i!=0xFF) i = SPI(0xFF);
    CS = 1;
    return r;
}

read_sd(unsigned long block)
{
    unsigned char i;
    unsigned int j;
    block = block * 512;
    CS = 0;
    SPI(0xFF);
    SPI(0x51);
    SPI(block>>24);
    SPI(block>>16);
    SPI(block>>8);
    SPI(block);
    SPI(0x95);
    i=SPI(0xFF);
    while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);
    i = SPI(0xFF);
    while(i != 0xFE) i = SPI(0xFF);
    for(j=0;j<=510;j++)
    {
        write_eeeprom(j, SPI(0xFF));
    }
    SPI(0xFF);
    CS = 1;
}

sd_init()
{
    unsigned char i = 0;
    unsigned int j = 0;

```

```

    CS= 1;
    for(i=0;i<10;i++) SPI(0xFF);
    CS=0;
    SPI(0xFF);
    SPI(0x40);
    SPI(0);
    SPI(0);
    SPI(0);
    SPI(0);
    SPI(0x95);
    i = 0xFF;
    while(i != 1) i=SPI(0xFF);
    while(i != 0)
    {
        SPI(0xFF);
        SPI(0x41);
        SPI(0);
        SPI(0);
        SPI(0);
        SPI(0);
        SPI(0x95);
        SPI(0xFF);
        i=SPI(0xFF);
    }
    CS = 1;
}

bit erase_sd(unsigned long block1, unsigned long block2)
{
    unsigned char i;
    bit r = 1;
    CS = 0;
    SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
    SPI(0x60);
    SPI(block1>>24);
    SPI(block1>>16);
    SPI(block1>>8);
    SPI(block1);
    SPI(0x95);
    i=SPI(0xFF);
    while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);
    if(i!=0) return 0;
    i=SPI(0xFF);
    while(i != 0xFF) i=SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
    SPI(0x61);
    SPI(block2>>24);
    SPI(block2>>16);
    SPI(block2>>8);
    SPI(block2);
    SPI(0x95);
    i=SPI(0xFF);
    while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);
    if(i!=0) return 0;
    i=SPI(0xFF);
    while(i != 0xFF) i=SPI(0xFF);
    SPI(0xFF);
}

```

```
SPI(0x66);  
SPI(0);  
SPI(0);  
SPI(0);  
SPI(0);  
SPI(0x95);  
i=SPI(0xFF);  
while(i == 0xFF) i=SPI(0xFF);  
if(i!=0) return 0;  
i=SPI(0xFF);  
while(i != 0xFF) i=SPI(0xFF);  
return 1;  
}
```