

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INFORMATIZADO DE MENOR CUSTO  
PARA AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS DE SENSORES  
ANALÓGICOS E RECEPTOR GPS**

**SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU-SP  
Fevereiro – 2006**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INFORMATIZADO DE MENOR CUSTO  
PARA AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS DE SENSORES  
ANALÓGICOS E RECEPTOR GPS

**SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA**

**Orientador: Kléber Pereira Lanças**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU-SP  
Fevereiro - 2006**

REPRODUÇÃO  
AUTORIZADA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO  
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G934d Guerra, Saulo Philippe Sebastião, 1978-  
Desenvolvimento de um sistema informatizado de menor  
custo para aquisição e armazenamento de dados de sensores  
analógicos e receptor GPS / Saulo Philippe Sebastião  
Guerra. - Botucatu : [s.n.], 2006.  
x, 118 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Fa-  
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006  
Orientador: Kléber Pereira Lanças  
Inclui bibliografia

1. Aquisição de dados. 2. Software de aplicação. 3. Infor-  
mática. 4. Sistema de posicionamento global. 5. Agricultu-  
ra de precisão. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universida-  
de Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de  
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INFORMATIZADO DE  
MENOR CUSTO PARA AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE  
DADOS DE SENSORES ANALÓGICOS E RECEPTOR GPS"

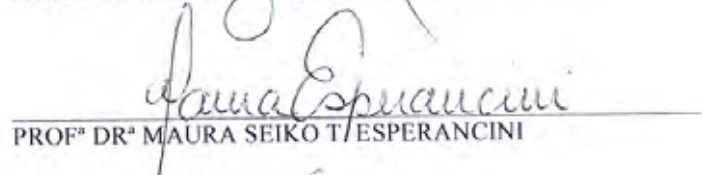
ALUNO: SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA

ORIENTADOR: PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS

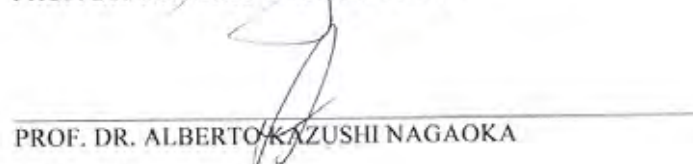
Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

  
\_\_\_\_\_  
PROF.ª DR.ª MAURA SEIKO T. ESPERANCINI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

Data da Realização: 24 de fevereiro de 2006.

A maior recompensa do nosso trabalho não é o que nos pagam por ele, mas aquilo em que ele nos transforma.

(John Ruskin)

***DEDICO***

À minha avó materna, Conceição

Aos meus avós paternos, Paschoalino e Margarida

Aos meus pais, Waldemar e Marielza

Ao meu irmão, Flaviano

À minha esposa, Belzinha

***OFEREÇO***

Ao meu avô materno, Abel Sebastião (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, do Departamento de Engenharia Rural, pela orientação precisa, amizade, dedicação e compreensão em todas as fases do curso de graduação, mestrado e doutorado.

Ao Professor Zacarias Xavier de Barros, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Energia na Agricultura, pela vaga concedida, apoio e atenção durante o curso.

Aos Professores José Matheus Yalenti Perosa e Izabel de Carvalho, Chefe e Vice-Chefe, respectivamente, do Departamento de Gestão e Tecnologia Agro-Industrial, pelo incentivo e oportunidades oferecidas.

À Rosângela Cristina Moreci, pela atenção, disponibilidade e eficiência na resolução dos problemas.

Aos funcionários, Marcos, Mário e Nivaldo, do Departamento de Gestão e Tecnologia Agro-Industrial.

Aos meus amigos e consultores técnicos especializados: Wagner Schalch Mendes, Jair Fumes, Paulo Roberto Jesuino, Cristiano Alberto de Paula, Jonas Felipe Salvador, Eiad Nail Atwa Othman e Samir Paulo Jasper.

Às funcionárias da seção de Pós-graduação, Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende de Freitas, Jaqueline de Moura Gonçalves.

Enfim, a todas as pessoas, instituições e empresas que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desta pesquisa.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 RESUMO .....	01
2 SUMMARY .....	03
3 INTRODUÇÃO .....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	07
4.1 Agricultura de precisão .....	07
4.2 Sistema de posicionamento global – GPS .....	12
4.2.1 Correção diferencial .....	16
4.2.2 Protocolo NMEA .....	20
4.3 Sensores .....	22
4.3.1 Transdutor elétrico .....	22
4.3.2 Potenciômetro .....	25
4.4 Sistemas de aquisição de dados .....	25
4.5 Linguagem computacional – “Visual Basic” .....	29

4.6 Custos.....	30
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
5.1 Sistema proposto .....	33
5.1.1 Material .....	33
5.1.1.1 Receptor GPS .....	33
5.1.1.2 Sensores .....	35
5.1.1.3 Módulo amplificador de sinais analógicos – não diferencial .....	37
5.1.1.4 Módulo amplificador de sinais analógicos – diferencial .....	38
5.1.1.5 Módulo conversor de sinais analógico / digital .....	39
5.1.1.6 Computador industrial .....	42
5.1.1.7 Fonte de alimentação .....	44
5.1.2 Métodos .....	44
5.1.2.1 Sinais analógicos .....	44
5.1.2.2 Sinais do receptor GPS.....	47

5.2 Sistema atual .....	48
5.2.1 Sistema de aquisição de dados .....	48
5.2.2 Receptor GPS .....	49
5.3 Avaliação dos receptores GPS .....	50
5.3 Análise comparativa de custos .....	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
6.1 Sistema proposto .....	52
6.1.1 Fonte de alimentação .....	52
6.1.2 Sistema condicionador de sinais A/D .....	53
6.1.3 Programa computacional - Coletor .....	61
6.1.3.1 Informações do receptor GPS .....	64
6.1.3.2 Informações dos sensores .....	66
6.1.4 Calibração .....	68
6.1.4.1 Célula de carga .....	68

6.1.4.2 Potenciômetro .....	69
6.1.5 Avaliação dos receptores GPS .....	70
6.1.6 Coleta de dados .....	72
6.2 Análise comparativa de custos .....	74
6.2.1 Sistema de aquisição de dados .....	74
6.2.2 Receptores GPS .....	78
6.2.3 Custo total dos sistemas .....	80
7 CONCLUSÃO.....	81
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
APÊNDICES .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
01 - Estrutura do protocolo NMEA 0183 .....	21
02 - Sentenças do protocolo NMEA.....	22
03 - Especificações do receptor GPS.....	34
04 - Especificações técnicas do transdutor de força .....	35
05 - Especificações técnicas do potenciômetro.....	36
06 - Especificações técnicas do amplificador.....	38
07 - Especificações técnicas do conversor analógico/digital .....	41
08 - Descrição do computador industrial.....	43
09 - Estrutura da sentença \$GPGGA .....	47
10 - Descrição dos campos \$GPGGA .....	47
11 - Características técnicas do sistema atual de aquisição de dados .....	49
12 - Especificações do receptor GPS .....	49
13 - Sentenças no formato do protocolo NMEA, a cada segundo .....	64
14 - Levantamento dos custos para aquisição do sistema atual.....	74
15 - Levantamento dos custos de aquisição do sistema proposto .....	75
16 - Análise de custo para o sistema atual.....	76
17 - Análise de custo para o sistema proposto .....	76
18 - Análise de custo para a nova situação .....	78
19 - Levantamento dos custos de aquisição dos receptores GPS .....	79
20 - Análise de custo comparativa entre os receptores .....	79
21 - Análise de custo comparativa entre os dois sistemas de aquisição de dados .....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 - Esquema da ponte de "Wheatstone" .....	24
02 - Representação esquemática (esquerda) e vista interna (direita) do potenciômetro .....	25
03 - Receptor GPS em corte esquemático (esquerda) e vista frontal (direita) .....	35
04 - Prensa hidráulica utilizada na calibração da célula de carga do projeto .....	36
05 - Modelo do ensaio para o potenciômetro .....	37
06 - Vista em perspectiva do amplificador (esquerda) e esquema de ligação (direita) .....	39
07 - Conversor PMD-1208LS .....	40
08- Cabo padrão USB (esquerda) e terminais do cabo (direita), onde o terminal "A" conecta-se ao computador industrial e o "B" conecta-se no conversor A/D .....	40
09 - Fluxograma das funções do conversor .....	42
10 - Vista frontal do computador industrial .....	43
11 - Vista lateral da Unidade Móvel de Amostragem de Solo (UMAS) .....	45
12 - Vista detalhada do penetrômetro hidráulico-eletrônico .....	45
13 - Ilustração do sistema atual de aquisição de dados .....	48
14 - Receptor e antena AgGPS 132 .....	50
15 - Cabo de alimentação (esquerda) e vistas em perspectiva (centro e direita) .....	52
16 - Diagrama em blocos do módulo amplificador de sinais - não diferencial .....	53
17 - Diagrama eletrônico do módulo amplificador de sinais - não diferencial .....	54
18 - Vista geral do sistema condicionador de sinais A/D .....	55
19 - Vista geral de todos os módulos do sistema proposto .....	56
20 - Esquema elétrico do sistema condicionador de sinais A/D .....	57
21 - Diagrama em blocos do sistema de aquisição de dados .....	58
22 - Vista geral do sistema proposto .....	59
23 - Fluxograma simplificado do programa "Coletor" .....	62
24 - Tela inicial (esquerda), e as informações do GPS e do penetrômetro sendo coletadas simultaneamente (direita) .....	63
25 - Coleta dos dados GPS (esquerda) e do penetrômetro (direita) .....	63
26 - Arquivo tipo texto (*.txt) visualizado no aplicativo "Bloco de notas" .....	66
27 - Arquivo tipo texto (*.txt) visualizado no aplicativo "Bloco de notas" .....	67
28 - Relação do módulo amplificador de sinais analógicos – diferencial .....	68
29 - Relação entre a carga aplicada e a leitura amplificada da informação .....	69
30 - Relação entre a distância percorrida e a leitura da informação .....	70
31 - Posicionamento estático dos receptores GPS no marco geodésico .....	71
32 - Pontos amostrais com os dois receptores .....	71
33 - Distribuição geográfica dos pontos amostrais .....	72
34 - Resultado da resistência do solo à penetração em Volts .....	73
35 - Resultado da resistência do solo à penetração em valores reais .....	73

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice	Página
01 - Formulário para a porta serial e porta USB .....	93
02 - Módulo para a leitura da porta serial .....	97
03 - Módulo para a leitura da porta USB .....	100
04 - Classe para arquivamento dos dados capturados pelas portas serial e USB .....	103
05 - Arquivo salvo pelo "Coletor" para os dados da célula de carga e do Potenciômetro.....	105
06 - Arquivo salvo pelo "Coletor" para os dados do receptor GPS .....	116

## **1 RESUMO**

A agricultura de precisão pode ser definida como sendo a integração entre diversas tecnologias com a finalidade de reduzir as perdas na produção agro-florestal, aumentando o retorno econômico do meio rural e reduzindo os impactos ambientais. Para tanto, a aquisição e o armazenamento informatizado das informações geradas no campo é de suma importância para o desenvolvimento da agricultura e, também, da silvicultura de precisão.

O registro automático de dados possibilita, entre as principais vantagens, a eliminação de erros humanos de leitura e digitação, redução das perdas de dados e da falta de sincronismo nas leituras entre vários instrumentos, além de garantir diferentes frequências de leitura, com intervalos precisos.

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver e avaliar um sistema informatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados provenientes de sensores analógicos (célula de carga e potenciômetro) e de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global), além de fazer uma análise econômica comparativa com o atual sistema de coleta de dados utilizado (Micrologger CR10X).

O sistema proposto foi composto de uma fonte de alimentação (12 Vcc), um módulo condicionador de sinais analógicos – não diferencial (um fio), um módulo condicionador de sinais analógicos – diferencial (dois fios), um módulo conversor de sinais analógico/digital, um computador industrial e um receptor GPS nacional.

Para coordenar a aquisição, a filtragem e o armazenamento de dados no computador industrial, foi desenvolvido um programa computacional, chamado de “Coletor”, na linguagem de programação orientada a objetos – Microsoft Visual Basic 6.0.

Os resultados mostraram que o conjunto de equipamentos eletrônicos e o programa computacional desenvolvido no projeto, geraram informações confiáveis para elaboração de relatórios de forma semelhante ao sistema atualmente utilizado. As informações obtidas do receptor GPS e armazenadas pelo “Coletor” puderam ser facilmente aplicadas na agricultura de precisão.

O custo do sistema de aquisição de dados proposto foi, aproximadamente, duas vezes menor que o custo do sistema de aquisição atualmente utilizado, (CR10X - Campbell Scientific, Inc.) e o custo do georeferenciamento das informações coletadas, utilizando o receptor GPS nacional foi, aproximadamente, 25% do custo comparado ao receptor Trimble AgGPS132.

DEVELOPMENT OF LOW COST DATA ACQUISITION AND STORAGE SYSTEM  
BASED ON PERSONAL COMPUTER FOR ANALOGICAL SENSORS AND GPS  
RECEIVER. Botucatu, 2006. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na  
Agricultura) Faculdade de Ciencias Agronomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SAULO PHILIFE SEBASTIAO GUERRA

Adviser: KLEBER PEREIRA LANCAS

## 2 SUMMARY

Precision agriculture is the integration among several technologies in order to reduce the agricultural losses, increasing the economical return and reducing the environmental impacts. So, the computer based data acquisition and storage for field data is very important for precision agriculture development.

The automatic data storage allows to eliminate the human reading and type errors, to reduce data losses and no synchronism readings among different sensors, in addition assure different frequency readings with precise intervals

This present research had for main objective to develop and evaluate a data acquisition and storage system based on personal computer for analogical sensor (load cells and potentiometer) and GPS receiver (Global Positional System).

The main objective of this research was to develop and evaluate a low cost acquisition and storage data system for analogical sensors (load cells and potentiometer) and GPS receiver and also realize a comparative economical analysis between the actual data acquisition system (Micrologger CR10X) and the proposal system.

---

Keywords: *data acquisition system, software, hardware, precision agriculture.*

The proposal system was based on 12  $V_{dc}$  batteries, a single ended conditioner module (one wire), a differential conditioner module (two wires), analogical/digital converter, personal computer and a Brazilian GPS receiver.

To coordinate the acquisition, clean up and data storage on the personal computer, dedicated software was designed on Microsoft Visual Basic 6.0 (Oriented Object Programming), called “Coletor”.

The proposal hardware and software designed on this project generated trusted information ready to use analog as the actual system. GPS information cleaned up and stored using “Coletor” could be easily useful for precision agriculture.

Proposal data acquisition system cost was, almost, two times lower than the actual system (CR10X – Campbell Scientific, Inc.), and the stored positioning information, using a Brazilian GPS receiver was, almost, 25% of the Trimble AgGPS132 receiver cost.

### **3 INTRODUÇÃO**

A agricultura é uma das mais antigas fontes de vida da humanidade, podendo ser encontrados modelos simples de cultivo até áreas com a utilização de modernas e sofisticadas tecnologias. Em particular, neste último século, fatores como a mecanização, a introdução de fertilizantes químicos, a aplicação de pesticidas sintéticos e os melhoramentos genéticos em plantas têm aumentado a produtividade agrícola, resultando numa maior produção de alimentos e, conseqüentemente, num aumento do número de pessoas alimentadas.

Segundo o IBGE (2000), a proporção de pessoas trabalhando no campo tem diminuído. Em 1991, 25% da população estava no campo, e em 2000 apenas 19%. As propriedades agrícolas vêm crescendo em tamanho e se tornando empresas especializadas, devido às necessidades e condições econômicas globalizadas.

Uma das opções utilizadas para tornar o trabalho agrícola mais produtivo é a modernização dos processos, exigindo equipamentos de qualidade, que automatizem e facilitem as operações no campo. A indústria eletrônica tem um papel fundamental na modernização das atividades agrárias, pois oferece diversos componentes, sensores, microcontroladores e até sistemas complexos de automação e controle, que tornam as atividades muito mais rápidas e precisas.

A automação de processos tem sido, neste século, uma tecnologia de profunda repercussão, cuja importância advém não só de substituir o trabalho humano nas tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também e, principalmente, do fato de permitir uma sensível melhoria na qualidade dos processos.

Os computadores surgiram neste cenário como um equipamento de uso bastante difundido, com múltiplas aptidões e capacidades, apresentando como vantagens e diferenciais, grande capacidade de armazenamento de dados, personalização das atividades, baixo custo de aquisição, rapidez na amostragem e precisão elevada.

Tendo em vista essas características, a agricultura de precisão desenvolve-se como um conceito que fundamentalmente, visa aumentar a eficiência no manejo agrícola por meio de novas tecnologias, equipamentos e sistemas.

Neste contexto, esta pesquisa teve como principal objetivo desenvolver e avaliar um sistema informatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados provenientes de sensores analógicos (célula de carga e potenciômetro) e de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global), além de fazer uma análise econômica comparativa de custo entre o sistema proposto e o atual sistema de coleta de dados utilizado (Micrologger CR10X).

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Agricultura de Precisão**

Nos últimos anos, em todo o mundo, o interesse pela agricultura de precisão tem aumentado de forma a incentivar o investimento em pesquisas científicas e desenvolvimento de equipamentos.

A agricultura de precisão surgiu como um método de administração cuidadoso e detalhado do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada porção da lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos (Schueller et al., 1999). Além disso, tem sido uma ferramenta de grande valia, para o mapeamento do solo, para a otimização da aplicação de insumos e na geração de informações nas atividades de colheita, considerando a área de modo diferenciado, a fim de racionalizar o uso de insumos e o consumo de energia (Mantovani et al., 1998).

Molin (1997) definiu a agricultura de precisão como uma filosofia de trabalho adotada por vários agricultores em vários países, acrescentando que esta técnica só foi possível com a utilização do GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Porém, sabe-se que o conceito utilizado em agricultura de precisão é conhecido desde do início do século passado, quando Linsley & Bauer (1929) apresentaram o primeiro relato sobre agricultura de precisão.

Desde os primórdios do século XX, alguns pesquisadores procuravam desenvolver uma metodologia para que os produtores pudessem amostrar, testar e mapear os solos, principalmente com relação à acidez (pH do solo), de forma simples e prática e que resultasse numa economia dos insumos aplicados.

Nos Estados Unidos da América, Linsley & Bauer (1929) mostraram que a variabilidade do pH do solo poderia ser determinada e mapeada, sendo a aplicação de corretivos realizada de maneira espacialmente variada. Para a implementação dessa idéia inovadora, os dois professores desenvolveram uma metodologia de coleta de amostras no campo, propondo que a amostragem do solo fosse realizada em função de um caminhamento pré-determinado e sistemático. Entretanto, esses pesquisadores relataram que a amostragem sistemática do campo não representava, necessariamente, para todos os casos, uma economia de insumos aplicados, mas sim, a quantificação destes para cada área onde seriam utilizados.

Devido a inexistência de equipamentos e ferramentas adequadas, os conceitos de gerenciamento localizado tiveram um ciclo muito curto e só foram viáveis em pequenas áreas, visto que as operações eram realizadas manualmente.

Desde o trabalho de Linsley & Bauer (1929) até meados da década de 1980 pouco se investiu nessa área e diversos termos foram criados na tentativa de se descrever o conceito da agricultura de precisão. Termos e expressões como agricultura pelo solo, agricultura por um pé, sítio específico, tecnologia a taxas variadas, produção em local específico, manejo em local específico, entre outros, foram relacionados por Pierce & Nowak (1999). Os termos mais comuns encontrados na bibliografia são: tecnologia de taxas variáveis (“Variable Rate Technology – VRT”); gerenciamento localizado de culturas (“Site-Specific Crop Management”); cultivo auxiliado por computadores (“Computer Aided Farming”) e agricultura de precisão (“Precision Farming e/ou Precision Agriculture”), segundo Kincheloe (1991) e Searcy (1995), sendo esta última expressão a mais utilizada pelos autores.

Conforme Goering (1992), a agricultura convencional fundamenta-se na pressuposição da homogeneidade das propriedades e características físicas, químicas e biológicas dos solos e das culturas. Embora aparentemente pareça uma grande incoerência, havia algumas justificativas para a adoção da pressuposição de homogeneidade, conforme

relataram Goering & Han (1993). Devido à inexistência de tecnologia especializada capaz de determinar, localizar e quantificar as variações espaciais dos fatores de produção, assim como a incapacidade da realização de operações de aplicação localizada e em dosagens variáveis de insumos, não havia justificativas agrônômica, ambiental e econômica para que fossem identificadas tais variações. Por este motivo, embora a existência da variabilidade espacial dos fatores de produção fosse conhecida, era desconsiderada, sendo então aceita e utilizada a idéia da homogeneidade das áreas.

De acordo com Yule et al. (1996), a agricultura de precisão pode ser utilizada de forma a proporcionar o uso mais racional e econômico dos insumos, diminuindo-se assim os impactos ambientais, bem como o volume de produtos atualmente utilizados. Portanto, é necessário identificar e georeferenciar as necessidades das culturas. Os sistemas de informações geográficas - SIG (GIS – Geographical Information System) conforme os autores, são sistemas computacionais cujas características permitem o armazenamento, gerenciamento, análise e visualização de informações georeferenciadas, podendo auxiliar os agricultores na identificação das parcelas cujas capacidades produtivas sejam similares.

Dallmeyer & Schlosser (1999) relataram que a agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas de modo adequado para as variações espaciais e temporais nos fatores que afetam a produtividade. O que tem levado a esta nova filosofia de prática agrícola é o uso de três novas tecnologias, que são o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS). A agricultura de precisão é um conceito de sistema de produção agrícola que envolve o desenvolvimento e a adoção de técnicas de gestão, baseado no conhecimento com o objetivo principal de otimizar a rentabilidade. Este sistema permite práticas de gerenciamento utilizando um computador pessoal, que possibilita administrar cada local do campo adequadamente e, caso seja econômico e tecnicamente vantajoso, administrá-lo a este nível.

Campo (2000) atribui à agricultura de precisão, os seguintes benefícios: redução de quantidades de insumos; redução dos custos de produção; redução da contaminação ambiental e aumento no rendimento das culturas.

Segundo Capelli (1997), a agricultura de precisão apresenta a vantagem de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma a tomada de decisão com melhor embasamento. Com isto, tem-se uma maior capacidade e flexibilidade para a distribuição dos insumos naqueles locais e no tempo em que são mais necessários, minimizando os custos de produção; a uniformidade na produtividade é alcançada pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade obtendo-se, com isto, um aumento global da produtividade; a aplicação localizada dos insumos necessários para sustentar uma alta produtividade contribui com a preservação do meio ambiente, já que estes insumos são aplicados somente nos locais, quantidades e no tempo necessário.

Para Batchelor et al. (1997) a agricultura de precisão pode melhorar a produtividade da colheita e os lucros, fornecer informações para tomar decisões de manejo mais embasadas, prover registros de fazenda mais detalhados e úteis, reduzir custos de fertilizante e defensivos, além de reduzir a poluição.

Maohua (2001) ressalta a importância da agricultura de precisão para o desenvolvimento tecnológico dos países em desenvolvimento, o incremento da produção agrícola e o incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias. Contudo, o que ocorre nestes países, segundo o autor, não é um desenvolvimento tecnológico, mas sim uma adaptação de tecnologias já aplicadas em países desenvolvidos, o que coloca estes países um passo atrás no desenvolvimento de novos produtos.

Segundo Saraiva et al. (1998), a agricultura de precisão é uma tecnologia que demanda uma grande quantidade de dados para a tomada de decisão e pressupõe a aquisição e a manipulação de uma quantidade muito maior de dados para a tomada de decisão do que a agricultura tradicional.

Fraisse & Faoro (1998) destacam que a agricultura de precisão permite ainda construir bancos de dados espaciais e temporais importantes no desenvolvimento de técnicas visando o uso racional do solo, com conseqüente redução de custos e impactos ambientais. Para isso, a agricultura de precisão pode ser dividida em três grandes etapas:

coleta de dados com o objetivo de mapear a variabilidade espacial e temporal; análise dos dados e tomada de decisões e aplicação localizada de insumos agrícolas.

Saraiva et al. (1998) esclarecem que a etapa de coleta dos dados tem o objetivo de identificar a variabilidade existente em um campo da produção e os diversos fatores de produção (principalmente parâmetros do solo, mas também presença de pragas, plantas daninhas, etc.). Os autores colocam que, nesta etapa, uma extensa coleta de dados da própria produção (colheita) e dos fatores de produção deve ser feita, sempre com um nível de detalhe que evidencie a variabilidade espacial em campo. Para isso, diversos equipamentos são utilizados: coletores de dados e amostradores de solo – automáticos ou manuais, imagens de satélite, fotos aéreas, entre outros.

Segundo Zhang et al. (2002), a variabilidade tem significativa importância na produção agrícola e pode ser dividida em seis grupos:

- de produção: distribuição histórica e atual da produção;
- do campo: topografia, inclinação, terraços;
- do solo: fertilidade do solo, propriedades físico-químicas, umidade, quantidade de matéria orgânica, condutividade hídrica, compactação, profundidade do solo;
- da cultura: densidade da cultura, altura da cultura, estresse hídrico da planta, quantidade de radiação fotossintética;
- por fatores anômalos: doenças, infestações, danos causados por intempéries;
- pelo gerenciamento: práticas agrícolas, plantio direto, cultivo misto, rotação de culturas, aplicação de defensivos, irrigação.

Quanto à etapa de análise de dados e tomada de decisões, Saraiva et al. (1998) ponderaram que é necessário processar os dados para, inicialmente, quantificar a variabilidade existente e avaliar sua relevância. Em seguida, o processamento tenta relacionar a variabilidade da produção com os fatores de produção, buscando relações inequívocas de causa-efeito, a partir das quais se possam propor estratégias de gerenciamento agrícola que levem em conta esse cenário de variabilidade. Esse procedimento é baseado em programas específicos – sistemas especialistas (SIG) e outros, normalmente executados em microcomputadores. O resultado final desta etapa pode ser a elaboração de mapas que quantificam as ações a serem tomadas em campo, a cada ponto, para as diversas operações do processo produtivo, em particular aquelas relacionadas à aplicação dos diversos insumos e

levando em conta o potencial de produção de cada parte do talhão. Esses mapas serão transferidos para os sistemas eletrônicos embarcado nas máquinas que irão realizar a aplicação localizada de insumos.

Para Swinton & Lowenberg-DeBoer (2001), a agricultura de precisão é o conjunto de quatro tecnologias: determinação de localização (através de GPS), sistema de informações geográficas (SIG), controle de aplicação de insumos a taxas variáveis e automação da coleta e atualização dos dados da cultura.

Cox (2002) justifica que a agricultura de precisão não é o resultado apenas da utilização de equipamentos de posicionamento, hoje empregados em larga escala, mas sim, de um conjunto de equipamentos visando a coleta de dados e a execução de tarefas. A implementação da agricultura de precisão depende do desenvolvimento tecnológico para coletar e utilizar a grande quantidade de dados requeridos para se entender a variabilidade espacial da produtividade da lavoura e os fatores que a influenciam.

Fraisse & Faoro (1998) concluíram que o fator econômico é extremamente importante e decisivo na adoção de novas tecnologias para os usuários. Eles ressaltam, porém, que os benefícios econômicos da aplicação de novas tecnologias variam em função da cultura, da heterogeneidade da área plantada e ainda com outros fatores como, por exemplo, o clima. Por isso, a agricultura de precisão requer o uso intensivo de tecnologias de ponta, sendo necessário o estabelecimento de um programa de treinamento adequado de mão-de-obra e de disponibilidade de assistência técnica eficiente.

Maohua (2001) pondera que em alguns países em desenvolvimento, a agricultura de precisão pode se tornar um problema devido à falta de informação e pessoas qualificadas para a utilização de tais tecnologias. Porém, prossegue o autor, muitos países em desenvolvimento têm se beneficiado da disponibilidade de informações, seguindo modelos ou adaptando novas tecnologias à sua realidade.

#### **4.2 Sistema de posicionamento global - GPS**

Os sistemas de navegação global por satélite, ou simplesmente GNSS, tornaram-se disponíveis para uso civil a partir de 1995. No momento, são conhecidos três

sistemas de posicionamento global: o sistema NAVSTAR GPS (“NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System”) desenvolvido pelos EUA, o GLONASS (“Global'naya Navigatinnaya Sputnikovaya Sistema”) de propriedade russa e o GALILEU um projeto da Comunidade Européia, previsto para entrar em operação em 2008, e que em janeiro deste ano lançou o primeiro satélite para testes iniciais (Fapesp, 2006).

Segundo Molin (1997), o sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, sendo um sistema que fornece ao usuário a sua perfeita localização na superfície da terra. Este autor, ainda, define o sistema GPS, como um sistema de rádio navegação que utiliza os satélites. Na realidade, por conveniência, habituou-se chamar o receptor GPS simplesmente de GPS, o que, teoricamente, é um erro, pois GPS se refere ao sistema como um todo que engloba os satélites, receptores, bases, etc.

Monico (1998) explica que o sistema GPS é constituído de três segmentos: espacial, de controle e do usuário. O segmento espacial atualmente é constituído por 24 satélites operacionais, com mais três de reserva, distribuídos em seis planos orbitais e em órbita de aproximadamente 20200 quilômetros da Terra. Nesta distância, cada satélite realiza duas órbitas completas por dia (órbita de 12 horas). Devido à elevada altitude dos satélites há pouca resistência atmosférica e sua órbita é muito estável. Esta configuração torna possível observar, durante 24 horas por dia, pelo menos quatro satélites, simultaneamente, em qualquer parte do mundo.

Isso garante uma leitura dos sinais emitidos pelos satélites com precisão adequada, a qualquer hora e em qualquer ponto do planeta. Os satélites do sistema GPS são equipados com relógios atômicos que utilizam material radioativo para fazer a medida do tempo. A precisão desses relógios torna possível o uso desses satélites para navegação e mapeamento. Para o funcionamento correto de todo o sistema, apenas um relógio por satélite é necessário, porém cada satélite possui mais três relógios atômicos de reserva. Cada satélite emite duas ondas portadoras de rádio, em uma banda denominada L, geradas por um mesmo relógio atômico (Monico, 1998).

Os dois canais de frequência transportam códigos de posicionamento e comunicação, sendo chamados de L1 e L2. O sinal L1 transporta o sinal C/A e também o sinal de precisão, denominado P. O sinal L2 transporta apenas o código de precisão, sendo

disponível apenas para uso militar ou ainda para aparelhos receptores autorizados (Trimble, 1999).

O segmento de controle, segundo Monico (2000), composto pelas estações terrestre que são responsáveis pelo funcionamento dos satélites, cinco estações pertencentes à Força Aérea dos EUA e sete estações pertencentes ao NIMA (National Imagery Mapping Agency) localizadas em torno do mundo. As estações de monitoramento captam e processam os sinais dos satélites, enviando dados para a estação principal. Estas informações são utilizadas para calcular as órbitas exatas dos satélites e atualizar os sinais de navegação emitidos por estes. Existem problemas com a interferência do campo gravitacional e com outros fenômenos que podem afetar as órbitas dos satélites. Os resultados são então transmitidos, periodicamente, pela estação principal, para cada um dos satélites para efetuar as devidas correções.

Ainda Monico (2000) descreve que o segmento do usuário é constituído pelos receptores de GPS, que podem ser instalados em veículos, aeronaves ou embarcações, ou utilizados por pessoas para determinação da posição dos usuários na superfície terrestre. Alguns receptores possibilitam também o armazenamento de informações sobre cada ponto e a indicação da velocidade e direção de deslocamento. Os dados obtidos podem ser armazenados no próprio receptor ou, em alguns casos, em coletores de dados eletrônicos a eles acoplados.

O princípio básico do funcionamento da tecnologia do GPS está na trilateração, utilizando os satélites como pontos de referência. O receptor GPS determina a sua posição medindo a sua distância dos satélites do sistema no espaço. Cada satélite emite, de forma contínua, informações de sua posição e um sinal de tempo para sincronismo. O receptor determina o tempo que o sinal leva para percorrer a distância entre o satélite e o receptor e, conhecendo-se as coordenadas do satélite num sistema de referência adequado, pode-se determinar as coordenadas do usuário (Molin, 1998).

Pelo ponto de vista puramente geométrico (distância tridimensional) bastariam três satélites (equivalendo ao cálculo de três distâncias). A quarta observação é necessária para sincronizar o relógio do receptor com os relógios dos satélites. Esta falta de sincronização é a razão pela qual se usa o termo “pseudodistância”. O acesso ao sistema se dá de forma ininterrupta, em todo o planeta, independentemente das

condições meteorológicas (embora estas interfiram de certa forma na precisão das medidas). Portanto, os aparelhos de GPS fornecem informações de latitude, longitude e altitude usando sinais de quatro satélites (Trimble, 1998).

Segundo Rocha (2002), a determinação da distância e da posição do satélite é calculada com base nos dados contidos no almanaque (tabela dos números dos satélites com seus parâmetros orbitais) armazenado no receptor GPS. Uma vez calculada a posição, o receptor GPS terá de 5 a 12 satélites enviando sinais. O receptor, continuamente, seleciona os melhores satélites para o cálculo das posições, com uma frequência de uma nova posição por segundo.

Para determinação da posição bidimensional (2D Navigation: latitude e longitude), segundo Rocha & Lamparelli (1998), são necessários, pelo menos, três satélites com boa geometria, ao passo que, para determinação de posições tridimensionais (3D Navigation: latitude, longitude e altitude) são necessários quatro ou mais satélites.

Ainda, segundo Rocha (2002), testes realizados com receptores de navegação civis evidenciaram uma precisão prática na ordem de 15 a 40 metros, o que obrigou os militares americanos a imporem um distúrbio proposital no relógio do satélite, de tal forma que os receptores não autorizados gerassem posições com precisão em torno de 100 metros. Este distúrbio imposto aos usuários não autorizados foi denominado Disponibilidade Seletiva (S/A). A Disponibilidade Seletiva é uma degradação proposital no serviço SPS, elaborado pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD), da precisão do GPS para algo em torno de 100 metros na horizontal, 156 metros na vertical e 340 nanossegundos no tempo. Este fator foi eliminado em maio de 2000 e, atualmente, este sinal de interferência se encontra desativado pelo governo norte americano, o que reduziu o erro do posicionamento horizontal para menos de 15 metros.

Segundo Stafford & Ambler (1994), a execução de operações de campo espacialmente variáveis, como por exemplo, aplicações localizadas e diferenciadas de insumos, mapeamentos da produtividade e isocompactação, entre outras, somente podem ser realizadas com sucesso se contarem com um sistema de posicionamento adequado.

### 4.2.1 Correção diferencial

Para melhorar a precisão do GPS, segundo Balastreire (1998), pode-se utilizar a chamada “correção diferencial”, sendo esse sistema chamado de Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS), ou ainda, GPS diferencial.

Segundo Monico (2000), o DGPS foi desenvolvido com o objetivo de minimizar os efeitos da disponibilidade seletiva (S/A) imposta ao GPS no modo absoluto (SPS). Consiste de uma técnica que melhora a precisão e a integridade (probabilidade de que a posição informada atenda às especificações exigidas) do GPS. Sua utilização original baseou-se na navegação, mas, atualmente vem sendo empregada em diversas atividades, inclusive na agricultura. O autor afirma ainda que, estando a estação base localizada nas proximidades da região de interesse, há uma forte correlação entre os erros calculados na estação base e os erros da estação móvel. Desta forma, se o usuário receber estas correções, é possível corrigir as posições coletadas pela estação móvel.

O funcionamento do DGPS baseia-se na suposição de que o erro na determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores situados em uma área com algumas centenas de quilômetros de distância.

Para a utilização do DGPS, Morgan & Ess (1997), afirmaram que um receptor fixo é instalado em uma localização conhecida, podendo-se conhecer a diferença entre a posição obtida através do GPS fixo (chamado GPS base) e a posição real, possibilitando a correção diferencial do erro. Esta correção é feita através de processadores que calculam os erros e refinam as coordenadas obtidas. Como os satélites estão em constante movimento, os valores para correção diferencial são válidos para poucos segundos de intervalo.

Para que a correção diferencial possa ser realizada, algumas condições devem ser preenchidas, segundo Morgan & Ess (1997):

- A estação base (receptor fixo de referência) não deve estar muito distante da área de operação do receptor móvel, de modo que a constelação de satélites seja a mesma para os dois receptores. Os sinais de correção são válidos para uma distância de até 400 quilômetros da

estação base. Porém, para que a precisão máxima seja obtida, a distância entre ambos deve ser de até 50 quilômetros;

- a estação base deve estar localizada em um ponto de coordenada cartográfica precisamente conhecida;
- os dados gerados pela estação base e pela estação móvel devem ser compatíveis e ocorrerem simultaneamente.

A correção diferencial pode ser realizada após a coleta dos dados. Neste caso, é necessário um aplicativo adequado para pós-processamento e o registro simultâneo de dados, para ambos os receptores. Em alguns sistemas, a estação fixa envia, imediatamente, para o receptor móvel, o sinal de correção diferencial, sendo denominado “correção diferencial em tempo real” (Morgan & Ess, 1997).

Normalmente, o sinal de correção diferencial, em tempo real, pode ser obtido através de rádios-faróis (“beacons”) operados pela marinha, estações de rádio terrestres ou sinais de correção transmitidos via satélite. Os rádios-faróis são fixos e operam normalmente na região costeira, podendo cobrir uma faixa de até 300 quilômetros do litoral. As estações de rádio terrestre para transmissão de sinal de correção diferencial normalmente operam em frequência modulada (FM) e têm alcance máximo de aproximadamente 100 quilômetros, não estando disponíveis comercialmente no Brasil, (Morgan & Ess, 1997).

A transmissão de sinais de correção por satélites é realizada através do uso de satélites geoestacionários, que cobrem uma área muito grande. Tais sinais são fornecidos por empresas que cobram anuidades para a sua utilização. Os dados de correção, obtidos de diversas estações estrategicamente localizadas, são enviadas a uma estação central de controle da rede que, após verificações de qualidade e otimizações, os envia para o satélite distribuidor (Trimble, 1998). No Brasil estão disponíveis os sinais de correção diferencial fornecido por duas operadoras, Omnistar e Racal.

Uma outra tecnologia de correção diferencial, em tempo real, é a denominada WAAS que, segundo Lechner & Baumann (2000), é uma técnica para melhorar o desempenho do GPS que utiliza um satélite geo-estacionário e possui algumas estações terrestres para o monitoramento, possibilitando localizações com margem de erro de até três metros, durante 95% do período de utilização. Inicialmente, o sistema só funcionava nos

Estados Unidos, mas, atualmente, outros governos estão desenvolvendo sistemas idênticos e compatíveis com o sistema WAAS americano. Na Ásia já opera o sistema japonês MSAS, enquanto que, na Europa, opera o sistema EGNOS, porém não existe outro sistema semelhante ao WAAS em operação, ou mesmo em desenvolvimento, para utilização na América do Sul.

Para Gorgulho (2001), uma alternativa para a obtenção do sinal de correção diferencial seria a estação base de correção privada, sendo necessários, para isto, um receptor GPS base e um transmissor de rádio. Dentro da área de alcance do rádio transmissor, tem-se o sinal de correção que pode ser captado pelo receptor GPS móvel através de um receptor de rádio adequado.

Para a utilização do DGPS é necessário que o receptor GPS seja compatível com tal tecnologia e que permita o recebimento do sinal de correção através do meio de transmissão escolhido.

Na maioria dos modos de operação DGPS, o erro de posicionamento pode variar de 1 a 20 metros, dependendo de vários fatores associados ao procedimento e equipamentos utilizados. Segundo Gorgulho (2001), o DGPS é um processo que permite ao usuário civil obter uma precisão de 20 milímetros a 5 metros, pelo processamento contínuo de correções nos sinais, dependendo da qualidade do receptor e do sinal de correção utilizados.

Stafford (1996) afirma que diferentes operações ou atividades exigem diferentes precisões dos sistemas de GPS, e quanto maior a precisão dos equipamentos destinados à realização das operações localizadas, maior o custo desta operação. Para o mapeamento da produtividade, por exemplo, não há necessidade de se utilizar sistemas de posicionamento com precisão sub-métrica, entretanto, isso não acontece para a aplicação localizada de defensivos entre as linhas de plantio, onde a precisão do sistema de posicionamento deve ser menor ou igual a 1 metro.

Fraisse e Faoro (1998) consideram que uma vez tomada a decisão de se iniciar uma cultura usando a agricultura de precisão, é importante decidir qual a precisão requerida para o sistema de posicionamento. Como regra geral, espera-se que o mapa base do campo seja o mais preciso possível, uma vez que servirá de referência para todas as análises e operações de campo. Quanto a outros dados coletados, como solo e produtividade da cultura, a precisão varia com o tipo de dado coletado e a finalidade da informação obtida. Para o

posicionamento das amostras de solo e de dados de produtividade (mapas de colheita), geralmente é tolerada uma precisão na ordem de um a três metros.

Segundo Lechner & Baumann (2000), para diversas atividades que requerem o uso dos sistemas GPS, incluindo as aplicações na agricultura, fatores como a precisão, disponibilidade (maior alcance) e integridade, podem não ser alcançados utilizando somente um sistema receptor GNSS (GPS ou GLONASS). Para incrementar o desempenho do sistema pode-se fazer uso de estações de referência DGPS local e regional.

Fraisse e Faoro (1998) concluíram que o uso da correção diferencial é requerido na maioria das operações em campo, embora em alguns casos, como na coleta de dados de produtividade com colhedoras, os dados de posicionamento possam ser pós-processados.

Balastreire & Baio (2002) relataram que a utilização de um programa computacional instalado no processador do receptor GPS (“Firmware”), conhecido popularmente como algoritmo de correção de dados, pode contribuir para a redução do erro de posicionamento do receptor GPS. Os autores citados realizaram um trabalho comparativo da acurácia entre o posicionamento por um GPS utilizando correção diferencial fornecida via satélite e utilizando o algoritmo otimizado. Os autores verificaram que os desvios de posicionamento obtidos com o GPS utilizando o algoritmo otimizado variaram entre um valor mínimo de 0,013m e um máximo de 0,419m, enquanto que com o GPS utilizando o sinal de correção via satélite os desvios variaram entre 0,095m e 1,165m (Balastreire & Baio, 2002).

Baio & Antuniassi (2004), durante um ensaio comparativo utilizando um pulverizador equipado com marcador de espuma e um receptor GPS com correção de dados através de algoritmo otimizado, afirmaram que é vantajosa a utilização do algoritmo de correção de dados.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD), citado em Rocha (2002), garante um serviço padrão disponível (SPS) para os usuários civis. Utilizando um receptor GPS barato, na faixa de US\$ 300 a US\$ 3000 o erro padrão é da ordem de 10 a 25m. Utilizando um receptor deste nível, com uma correção diferencial (DGPS) o erro é reduzido para algo entre 5m a 1m. Porém o custo deste sinal de correção é da ordem

US\$ 1000,00/ano, ao passo que o algoritmo otimizado, apresenta o custo inicial semelhante, mas não necessita atualização constante.

#### 4.2.2 Protocolo NMEA

Os receptores GPS podem transmitir informações de posicionamento e outras informações referentes ao funcionamento do sistema em diversos formatos. Um dos conjuntos de protocolos mais utilizado é o desenvolvido e padronizado pela “National Marine Electronic Association” (NMEA). O NMEA trata-se de uma linguagem padrão da indústria para equipamentos de navegação, existindo diferentes formatos, entre os quais o NMEA 0180, o NMEA 0182, e o NMEA 0183. A maioria dos receptores GPS tem saída NMEA de dados, segundo CSI Wireless (2005).

Segundo Santos (2002), o protocolo NMEA 0183 foi desenvolvido visando a concepção de dispositivos eletrônicos para utilização marítima. A sua primeira versão foi liberada em março de 1983. O padrão NMEA 0183 define características elétricas do sinal, protocolo da transmissão de dados, sincronismo e formatos específicos de sentenças de transmissão. Este padrão tem sido constantemente atualizado e a sua última versão, denominada 3.01, é datada de janeiro de 2002.

Todas as sentenças do protocolo NMEA, conforme o manual da CSI Wireless (2005), consistem de, no máximo, 82 caracteres no código ASCII (American Standard Code for Information Interchange), Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informação.

A Tabela 1 apresenta a estrutura geral de uma sentença no formato NMEA 0183.

Tabela 1. Estrutura do protocolo NMEA 0183.

\$	Código do dispositivo	’	Tipo de sentença	’	Informação da sentença	,	(A/V)	,	* Checksum	CR/LF
----	-----------------------	---	------------------	---	------------------------	---	-------	---	------------	-------

Todos os campos de dados são separados por vírgulas (,) e têm comprimento variável. Os campos nulos também são delimitados por vírgulas (,), mas não contêm nenhuma informação. Uma sentença NMEA é iniciada com o caractere “\$” e finalizada com os caracteres CR/LF (CR: Carriage Return e LF: Line Feed).

Conforme CSI Wireless (2005), após o caractere de início de sentença, têm-se os seguintes campos de dados:

- Código do dispositivo (“talking device”): indica o dispositivo que está fazendo a transmissão;
- tipo de sentença: indica o formato da sentença;
- informações da sentença: hora, localização, entre outras;
- A/V: indica se uma sentença é ou não válida (A = válida e V = inválida);
- soma para controle (“checksum”): código utilizado para correção de erros.

A soma para controle (“checksum”) corresponde ao valor da soma, representada em oito bits, de todos os caracteres na mensagem, incluindo as vírgulas entre os campos, porém não considera os caracteres “\$” e “\*”. O resultado é convertido para dois caracteres ASCII (0 – 9, A – F).

Alguns códigos de dispositivos encontrados para utilização no segundo campo de uma sentença NMEA são: AG, CV e GP. (AG: Autopilot General. CV: Communications Radio-Telephone – VHF. GP: Global Positioning System.)

Santos (2002) elencou os códigos de alguns dos fabricantes de equipamentos que adotam o formato NMEA: ASH (Ashtech), CMP (C-Map), CSI (Communications Systems Intl), DAS (Dassault Sercel), DNT (Del Norte), FEC (Furuno Electric Corp.), GRM (Garmin Corp.), HPK (Hewlett Packard), e HWM (Honeywell Marine).

A Tabela 2 apresenta algumas sentenças NMEA comumente utilizadas por receptores GPS, (CSI Wireless, 2005).

Tabela 2. Sentenças do protocolo NMEA.

Sigla	Significado
-------	-------------

---

\$GPGGA	Global Positioning System Fix Data
\$GPGGL	Geographic Position – Latitude / Longitude
\$GPGSA	GNSS (Global Navigation Satellite System) DOP and Active Satellites
\$GPGST	GNSS Pseudo-range Error Statistics
\$GPGSV	GNSS Satellites in View
\$GPRMC	Recommended Minimum Specific GNSS Data
\$GPRRE	Range Residual Message
\$GPVTG	Course Over Ground and Ground Speed
\$GPZDA	Time and Date
\$ALM	GPS Almanac Data
\$GBS	GNSS Satellite Fault Detection
\$MSS	Beacon Receiver Signal Status
\$RMC	Recommended Minimum Specific GPS Data
\$XTE	Cross-Track Error

---

### 4.3 Sensores

As palavras “sensor” ou “transdutor” são largamente utilizadas para descrever os mais diferentes sistemas de mensuração.

Segundo Sutherland (2004), o sensor pode ser definido como um equipamento que detecta a mudança de um estímulo físico e retorna isto em um sinal que pode ser medido ou armazenado. O transdutor pode ser definido como um equipamento que transfere a energia de um sistema para outro na mesma forma ou não. Portanto, os sensores podem ser definidos como sendo o próprio elemento sensível, e os transdutores são equipamentos que estão associados a algum elemento sensível.

Ainda segundo Sutherland (2004), os sensores podem ser muito simples ou muito complexos, dependendo de sua aplicação e devem ser consideradas as propriedades tais como forma de excitação, especificações, fenômeno a ser observado, conversão mecânica, material e aplicações de campo.

#### 4.3.1 Transdutor elétrico

Existem, atualmente, segundo Ismail et al. (1998), diversos tipos de transdutores elétricos, e a maioria deles dependem da deformação de um elemento elástico. A deformação elástica ou movimento dos elementos é transformada em uma saída elétrica por meio de potenciômetros, extensômetros elétricos de resistência e métodos capacitivo, piezelétrico e magnético.

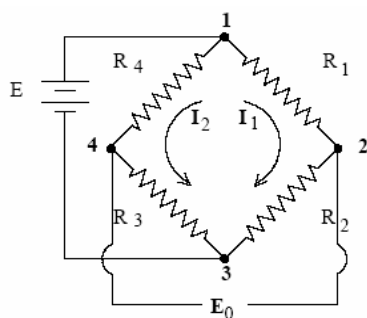
Os transdutores que utilizam o extensômetro elétrico de resistência ("strain gage"), necessitam de um resistor de alta qualidade e devem ter o seu elemento sensor bem fixado ao objeto que sofrerá a deformação elástica, assim como a cola utilizada deverá ser de ótima qualidade e aplicada na quantidade adequada, afirma Inamasu (1996). A cola tem função vital de transmitir o deslocamento da superfície da amostra para o sensor, sem distorções ou erros.

A maioria dos transdutores elétricos projetados para determinar a força de tração ou compressão utilizam os extensômetros elétricos de resistência como sensores, pelo fato de terem um baixo custo de aquisição, serem fáceis de instalar e possuírem uma voltagem de saída que pode ser facilmente relacionada à pressão. Na maior parte das aplicações, precisões de aproximadamente 2% são aceitáveis. Os erros que degradam a precisão do transdutor elétrico incluem deslocamento do zero com a mudança de temperatura, balanço da ponte de Wheatstone e ajuste da sensibilidade, (Inamasu, 1996).

Segundo a Dinamica Generale (2002) sendo os extensômetros elétricos de resistência, sensores normalmente conectados eletricamente a um circuito tipo "ponte de Wheatstone" (Figura 1), a saída de sinal elétrico (normalmente da ordem de mV ou V) está associada a variação da resistência no circuito. Assim, qualquer grandeza física que produza variação de resistência elétrica no circuito pode, em princípio, ser medida através deste sensor, como por exemplo: deslocamento, força, torque, aceleração, temperatura, vazão, pressão, etc.

Existem, portanto, vários fatores a serem considerados na escolha de um transdutor de pressão, segundo Dinamica Generale (2002), para uma aplicação específica, tais como: precisão estática, sensibilidade, limites de temperatura, pressão máxima, histerese, linearidade, tamanho, peso, resistência à corrosão e choques mecânicos, tipo de sinal e, finalmente, o custo.

Os transdutores de pressão, segundo Inamasu (1996), são sistemas baseados nos princípios de transdução de fenômenos físicos, como a alteração da dimensão para mudar a resistência elétrica.



E: alimentação da ponte, excitação, em V;

Ri: resistência elétrica, por exemplo, extensômetros elétrico, strain gage - com  $R=120\ \Omega$ ;

Eo: saída da ponte, sinal de saída, em V;

Fonte: Dinamica Generale, 2002.

Figura 1. Esquema da ponte de “Wheatstone”.

Os transdutores podem ser classificados como ativos e passivos. Os ativos geram a variável de saída (sinal elétrico) excitada pela própria variável de entrada, ou seja, não necessitam de alimentação. Os passivos requerem uma alimentação, sendo obrigatório, nesses casos, sempre observar a qualidade da alimentação. Caso a tensão de alimentação se altere, a leitura variará proporcionalmente, introduzindo um erro adicional no sistema. A vantagem desses transdutores está na possibilidade de se ter maior sensibilidade nas medições.

Outra classificação importante, ainda segundo Inamasu (1996), são os transdutores de pressão digitais e analógicos. Os sensores analógicos têm como característica sinais contínuos que portam, na sua intensidade, o valor de interesse. Os sensores digitais caracterizam-se pela lógica de dígitos 0 e 1, conhecida por sistema binário.

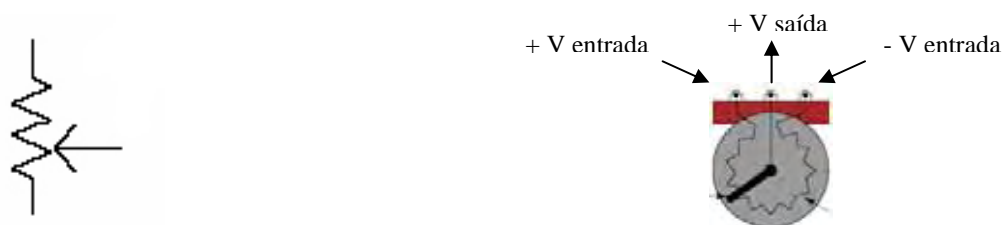
O sistema digital é, atualmente, o mais conveniente; primeiro, devido ao fato dos computadores e microprocessadores possuírem o sistema binário como unidade nativa e, segundo, devido à maior imunidade a ruídos provenientes de campos eletromagnéticos. Por causa dessas vantagens, mesmo que se utilizem os sensores analógicos,

a conversão do seu sinal em um dado digital é um procedimento muito utilizado. Esse procedimento é denominado conversão analógico/digital ou, simplesmente, conversão A/D.

### 4.3.2 Potenciômetro

Atualmente, segundo Sutherland (2004), os resistores variáveis ou reostatos, são denominados potenciômetros. O potenciômetro é um simples transdutor eletromecânico para medição de tensão, com três terminais (Volt de entrada, Volt de saída e terra) e uma conexão ajustável ao centro do instrumento. A Figura 2 apresenta o desenho esquemático e uma vista interna de um potenciômetro linear

Ainda, segundo Sutherland (2004), o transdutor converte o movimento linear ou rotacional em variação da resistência. Estes componentes eletrônicos normalmente apresentam alta estabilidade e pouca interferência a sinais eletromagnéticos. A leitura fornecida pelo potenciômetro é equivalente e proporcional à tensão de alimentação.



Fonte: Sutherland (2004).

Figura 2. Representação esquemática (esquerda) e vista interna (direita) do potenciômetro.

### 4.4 Sistema de aquisição de dados

A aquisição de dados, segundo Garcia et al. (2003), é uma atividade essencial em todo tipo de tecnologia e ciência, e tem como um de seus objetivos, apresentar, ao observador, os valores das variáveis ou parâmetro que estão sendo medidos.

A partir de 1970, segundo Spolon (1994), com o advento da microeletrônica, dos computadores pessoais e, posteriormente, dos computadores portáteis, as

possibilidades de estudos e avaliações de fenômenos agrícolas cresceram rapidamente. Nota-se que o registro de informações, dos mais diversos setores da agronomia, obtidas em frações de segundos passou a ser uma realidade, acrescentando maior precisão e confiabilidade aos estudos realizados.

Já no final da década de 1980 e início da década de 1990 alguns trabalhos de desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados baseados em computadores pessoais começam a surgir.

Em muitos tipos de aplicações onde a computação está instalada em um veículo, podem ser encontradas informações que não estão na forma digital por natureza. Expressões da natureza tais como, temperatura, pressão e umidade estão relacionadas com sinais analógicos.

Arnold (2001) descreve que os sinais analógicos são variáveis continuamente em amplitude e devem ser convertidos para valores discretos usando, para isso, um processador digital. Valores analógicos reais somente podem ser aproximados de um valor discreto digital. Os processadores que convertem os sinais de uma fonte continuamente variável em uma forma de representação discreta são chamados de conversores analógicos para digital (ADC ou A/D).

Os sinais continuamente variáveis, como o próprio nome sugere, variam em função do tempo, e, portanto, se faz necessário amostrar o sinal em um determinado instante, como uma fotografia. No entanto, além de “fotografar” o evento, deve-se registrá-lo (Arnold, 2001).

Para o registro destas informações, afirma Arnold (2001), pode-se usar a memória de acesso volátil (SRAM ou DRAM). A memória SRAM é um tipo de memória estática e de custo elevado. Uma solução seria usar a DRAM que pode ser multiplexada e controlada por um programa computacional. A desvantagem da memória DRAM é a alta necessidade de uso do processador para limpeza dos dados.

Misener & McLeod (1987) já pesquisavam soluções sofisticadas que empregavam os computadores portáteis para o arquivamento de dados obtidos diretamente no campo.

No Japão, Omata et al. (1992), desenvolveram o KODAQ (Kakuken Online Data Acquisition system) que apresentava como prioridade, a flexibilidade e a versatilidade do sistema. Além disso, o sistema era facilmente operado por um usuário leigo,

sem nenhum conhecimento de alguma linguagem de programação. Para este trabalho, Omata et al. (1992), utilizaram um microcomputador pessoal japonês (PC-9801 NEC) similar ao padrão IBM com o IBM PC/AT (CPU 8086 e 80386) com velocidade de processamento de 8, 10, 20 e 33 MHz.

Engberg & Glanzman (1993) afirmaram que, devido ao grande número de parâmetros e valores a serem avaliados, muitas vezes com elevado número de dados coletados em fração de segundo, os sistemas automatizados (computadorizados) para controle e racionalização em operações vêm se tornando imprescindíveis na agricultura moderna. Além disso, controles automatizados e livres de interferência humana ganham em rapidez e racionalizam a operação agrícola.

Segundo Spolon (1994), a tecnologia atual dos computadores possibilita a interação das pessoas com grandes quantidades de dados, utilizando um vasto número de funções. Os comandos utilizados para o controle e as respostas fornecidas pelo computador formam uma interface entre o homem e a máquina, sendo que o programa computacional dedicado facilita este procedimento.

Algumas das vantagens na construção de sistemas orientados a objetos são: o alto grau de reutilização, estabilidade, confiabilidade, rapidez no projeto, integridade, programação facilitada, melhor desempenho do conjunto, independência no projeto, conforme relata Spolon (1994).

Castelli & Mazzetto (1996) e Mazzetto (1996) desenvolveram um sistema que realiza o registro automático dos dados em campo, permitindo dispor de informações apropriadas para o planejamento e gerenciamento estratégico de todas as atividades e recursos da propriedade rural.

Mazzetto & Landonio (1999) desenvolveram um sistema que registrava a posição do trator usando GPS, consumo de combustível e rotação do motor, e todos os dados eram transferidos usando um cartão de memória padrão PCMCIA.

Pelletier & Upadhyaya (1999) projetaram e construíram um sistema que monitorava o funcionamento de uma colhedora de tomates, registrando as informações de

posicionamento GPS e produção dos frutos em tempo real. Os dados eram armazenados em um computador com cartão de memória padrão PCMCIA.

Storino et al. (2000) estudaram o desempenho do trator como um indicador do estado físico do solo através de parâmetros operacionais como rotação do motor, consumo de combustível e velocidade de deslocamento.

Perret et al. (2000) montaram um equipamento eletrônico para aquisição de dados embarcados em trator para monitorar a rotação do motor, consumo de combustível e posicionamento GPS.

Silveira (2001) realizou experimentos que analisavam os parâmetros de identificação do trator no campo, a fim de determinar a velocidade de deslocamento, consumo de combustível e rotação do motor.

Atualmente, segundo Garcia et al. (2003), a maioria dos pesquisadores utilizam computadores pessoais (PC) com placas de expansão para aquisição de dados em pesquisas laboratoriais, controle industrial, e em testes e medições; e que os sinais provenientes dos sensores, uma vez condicionados, podem ser lidos em computadores e armazenados em diferentes formas, como arquivos de texto ou planilhas eletrônicas. Essa tendência é devido à versatilidade e a facilidade de adaptação dos sistemas modernos para o uso em diferentes pesquisas.

Ribas et al. (2005) concluíram que o desenvolvimento de uma interface mais simples, de baixo custo e fácil manutenção, sem placas de circuito impresso sofisticado e, portanto, com características muito mais modestas que os sistemas comerciais, atendem completamente às necessidades dos experimentos laboratoriais por eles realizadas.

Garcia (2003) e Garcia et al. (2003) desenvolveram um sistema de aquisição automático de dados para avaliação de máquinas agrícolas baseado em instrumentação virtual, onde o computador utiliza um aplicativo que simula os instrumentos reais com controles e ambientes personalizados. Para tanto, foi utilizado o programa computacional LabView (National Instruments) que é um ambiente de desenvolvimento de aplicativos baseado em programação gráfica. O sistema permitiu a aquisição de dados com rapidez e eficiência, porém, o custo da aquisição dos equipamentos e programas, ainda tornam o projeto inviável para aplicações agrícolas.

Santos Filho et al. (2004) utilizaram um sistema de aquisição automática de dados para avaliar os níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. Neste estudo utilizaram um sensor que continha em um único aparelho o microfone, amplificadores, circuitos integradores, filtros, ponderadores e indicador da leitura. Posteriormente, os dados eram enviados para um conversor analógico / digital de 12 bits para serem armazenado em um microcomputador PC-XT.

Silveira et al. (2005) desenvolveram um sistema de aquisição automático de dados para gerenciamento de operações mecanizadas, onde eram registradas: a posição (GPS), o consumo de combustível e a rotação do motor em um trator. As informações coletadas foram registradas em um microcomputador portátil e utilizaram o protocolo serial RS-232C para comunicação.

Alves (2002) afirma que os sistemas computadorizados baseados em programas (“software”) permitem introduzir mais funções aos sistemas de controle para um maior número de situações diferentes e simultâneas, quando comparados aos sistemas baseados em equipamento (“hardware”) programável, pois estes têm uma estrutura inflexível.

Ainda, Alves (2002) relata que além do custo reduzido frente aos sistemas baseados em “hardware”, os novos sistemas têm velocidade de processamento extremamente elevada, são mais confiáveis, possuem mecanismos de tolerância à falhas e redundâncias. Com a miniaturização dos sistemas, os modelos modernos são mais leves e menos volumosos, apresentam enorme capacidade de armazenamento de dados, podendo ser em memória volátil (RAM) ou permanente (disco rígido, EEPROM, discos óticos ou magnéticos).

#### **4.5 Linguagem computacional – “Visual Basic”**

O Visual Basic 6.0 possibilita a elaboração de uma interface simples, atraente e, principalmente, objetiva, facilitando o trabalho de inserção de dados e de coleta das informações desejadas. Esta linguagem originou-se de uma das primeiras linguagens de computadores, a Basic, e ainda mantém estruturada em suas extensões de nome de arquivos e

convenções de nomenclatura de objetos padrões que possibilitam o acesso e manuseio por outros programadores de forma fácil e segura, sem a necessidade de se conhecer caracteres e definições complexas ou exclusivas para cada tarefa realizada (Pimentel, 1999).

De maneira geral, segundo Côtres & Scherr (2000) o Visual Basic é uma linguagem de programação visual orientada a objetos (a partir da versão 4.0). Até a versão 3.0 ela era orientada a eventos, ou seja, com o Visual Basic em suas versões mais recentes é possível fazer programas para o sistema operacional Windows utilizando programação orientada a objetos conhecida pela sigla OOP (Object-Oriented Programming).

Segundo Manzano (2000) os objetos são elementos definidos por classes, as quais possuem propriedades, métodos e eventos. Uma janela, um botão e um banco de dados são objetos. Classes são os moldes dos objetos, definindo suas propriedades, seus métodos e seus eventos. Uma janela é muito diferente de um botão, mas os dois são objetos. Isso acontece porque eles são definidos por classes diferentes.

Em alguns casos a linguagem Visual Basic justifica-se por várias razões, dentre elas: facilidade de uso, suporte e produtos personalizados para atender qualquer tipo de necessidade e acesso à banco de dados.

#### **4.6 Custos**

De acordo com Casarotto & Kopittke (2000), a substituição de equipamentos é um conceito amplo que abrange desde a seleção de ativos similares, porém novos, para substituir os existentes, até a avaliação de ativos que atuam de modos completamente distintos no desempenho da mesma função. As decisões de substituição de equipamentos são de suma importância, pois são em geral irreversíveis.

Existem várias razões que tornam econômica a substituição de equipamentos. Ferreira & Pamplonas (2001) citam algumas delas:

- deterioração: causadora de custos operacionais excessivos, manutenção crescente, perdas, entre outra.

- avanço tecnológico: causa obsolescência de equipamentos. Métodos mais eficientes podem ser mais econômicos.

- equipamento inadequado: mudanças de operação podem tornar um equipamento ineficiente e com enormes custos de operação.

A substituição de equipamentos é tradicionalmente estudada em situações práticas em que existe a necessidade de dar baixa em equipamentos existentes, adquirir equipamentos novos ou construir modelos em substituição aos existentes. Existem tipos de substituição e baixa de equipamentos utilizados para exemplos práticos que foram relacionados por Casarotto & Kopittke (2000):

- baixa sem reposição: analisam-se aquelas situações em que o equipamento está perdendo sua razão de existir em virtude da evolução de processos ou dos produtos.

- substituição idêntica: utilizada nos casos onde praticamente não há evolução tecnológica, ou melhor, suas conseqüências econômicas são muito pequenas.

- substituição não idêntica: utilizada quando o progresso tecnológico é aparente, mas não é possível detectar tendência de evolução contínua.

- substituição com progresso tecnológico: considera os custos da obsolescência comparando-se os custos de operação do equipamento a ser adquirido com os custos dos equipamentos que serão lançados no mercado nos próximos anos. A obsolescência, diferentemente da deterioração, que é uma característica intrínseca do equipamento, situa-se fora do equipamento existente e é uma característica devido a novos equipamentos lançados no mercado.

Para fins de análise econômica, o termo custo significa a compensação que os proprietários dos fatores de produção, utilizados por uma empresa para produzir determinado bem, devem receber para que continuem fornecendo esses fatores à mesma (Hoffmann et al., 1989).

A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital de longa duração, quando eles se tornam inutilizáveis, em decorrência do desgaste físico, ou perdem valor com o passar dos anos, devido a inovações tecnológicas e/ou à capacidade de gerar receita (Hoffmann et al., 1989 e Frizzone, 1999).

Segundo Noronha (1981), depreciação é uma reserva contábil

destinada a promover os fundos necessários para substituição do capital investido em bens produtivo de longa duração, em função do desgaste ou obsolescência.

Conforme Duarte et al. (1988), a depreciação é o custo pelo uso/obsoletismo, quando a vida útil de um equipamento ultrapassa um ano de uso.

Para Hirschfeld (1992), a depreciação é a diminuição do valor de um bem, sendo ela de natureza real ou contábil. A depreciação real é a diminuição efetiva do valor do bem, resultante do desgaste pelo uso, ação da natureza ou obsolescência. O desgaste é típico dos equipamentos cuja eficiência decresce gradativamente com o tempo, ou com o uso, provocando aumento de custos, prejuízo na qualidade do serviço prestado ou redução na eficiência produtiva.

Edwards (2001) considera a depreciação como um custo que aumenta em proporção direta com o investimento nos equipamentos. Barger et al. (1996) comenta a dificuldade na estimativa da depreciação dos equipamentos, decorrente da inexatidão na avaliação da vida útil.

Por representar uma parcela significativa do custo horário de equipamentos, Oliveira (2000) afirma que sua estimativa torna-se importante para a tomada de decisões relativas à substituição, à aquisição e à seleção de um novo equipamento, sendo que a depreciação é um custo de propriedade que deve ser alocado como custo fixo.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Sistema proposto**

#### **5.1.1 Material**

Para o desenvolvimento de um novo sistema, de menor custo, para aquisição e armazenamento de dados foram necessários alguns equipamentos, que estão relacionados nos itens a seguir. <sup>(1)</sup>

##### **5.1.1.1 Receptor GPS**

O receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) utilizado neste trabalho, marca Orbisat, modelo Kit ORB 2002 RLP, está descrito na Tabela 3 (Orbisat, 2002).

O Kit ORB 2002 RLP, equipamento de fabricação nacional, inclui o módulo receptor de sinais GPS, bem como um aplicativo que permite a avaliação do módulo pelo usuário.

---

<sup>(1)</sup> As citações de fabricantes, marcas e modelos não sugerem indicação de uso pelo autor.

O programa computacional fornecido pelo fabricante inclui uma interface gráfica para configuração e monitoramento do receptor.

Tabela 3. Especificações do receptor GPS.

<b>Kit ORB 2002 RLP</b>	<b>Características*</b>
Alimentação	+ 9 até + 45 Vcc (3 Vcc interno)
Consumo	500 mW (contínuo)
Temperatura de operação	de 0 °C até + 70 °C
Umidade	95 % sem condensação
Altitude	18000 metros
Velocidade de operação	600 m/s
Aceleração	4g
Canais	12 canais de recepção, L1, C/A
Tempo para fixar posição	máximo de 70 segundos
Interface de comunicação	RS-232
Taxas de comunicação	de 300 a 9600 bps
Formato de mensagens	NMEA 0183 Ver 2.00 ASCII
Mensagens NMEA	\$GPGGA, \$GPGSA, \$GPRMC, \$GPGLL, \$GPGSV, \$GPVTG e \$GPZDA
Frequência de mensagens NMEA	1 Hz
“Start bits”	1
“Data bits”	8
“Stop bits”	2
Verificação de paridade	nenhuma
Controle de fluxo	nenhum
Precisão sem correção diferencial	menos de 10 metros sem S/A
Precisão com correção diferencial	menos de 5 metros

\* Informações obtidas no manual de operação, fornecido pelo fabricante.

A Figura 3 apresenta a montagem dos equipamentos que compõem o receptor GPS e também uma vista frontal, sendo possível observar a ausência de uma interface visual com o usuário, obrigando a utilização de um computador industrial ou um sistema automático de aquisição de dados.



Fonte: Orbitsat, 2002.

Figura 3. Receptor GPS em corte esquemático (esquerda) e vista frontal (direita).

### 5.1.1.2 Sensores

Para determinação de forças de tração e compressão foi utilizado um transdutor de força do tipo célula de carga, com capacidade nominal de 2000 kgf (20000N), de fabricação nacional – Líder Balanças. As características desse sensor encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações técnicas do transdutor de força.

Descrição	Características*
Capacidade nominal	2000 kgf
Excitação Vcc	15 Vcc (máximo) 10 Vcc (recomendada)
Sensibilidade mV / V	2 mV/V +- 0,1%
Erro combinado - % saída normal	< 0,03%
Temperatura de trabalho	-10° até +50 °C
Máxima sobrecarga sem alteração (% capacidade nominal)	150 %
Sobrecarga de ruptura (% da capacidade nominal)	300 %
Material	Aço
Deflexão máxima a capacidade nominal	< 1 mm
Grau de proteção	IP 67

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

A calibração da célula de carga foi realizada em uma prensa hidráulica computadorizada (EMIC), modelo DL 10000, instrumentada com uma célula de carga aferida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), conforme mostra a Figura 4.

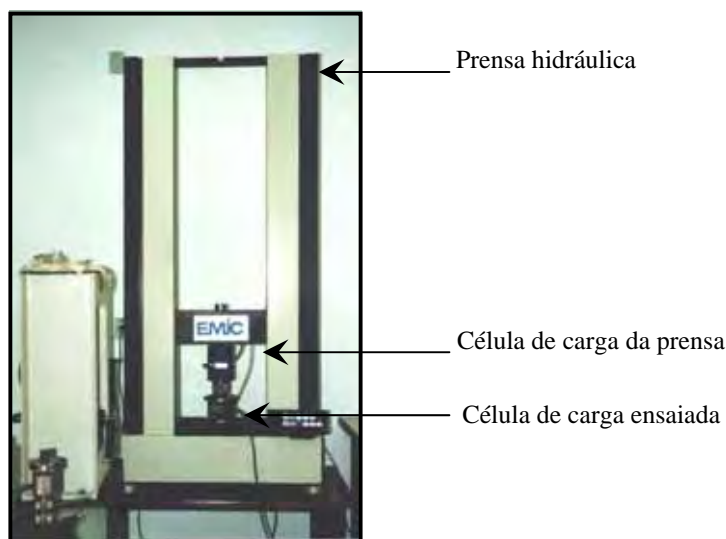


Figura 4.

Prensa hidráulica utilizada na calibração da célula de carga do projeto.

Para a determinação de deslocamento linear foi utilizado um potenciômetro multivoltas com curso de 10 (dez) voltas modelo 534, fabricado pela Vishay Spectrol, como sendo um sensor de distância (Lanças et al., 2005). As especificações técnicas fornecidas pelo fabricante estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5. Especificações técnicas do potenciômetro.

Descrição	Características*
Faixa de resistência	100 $\Omega$ a 100 k $\Omega$
Tolerância de resistência	+/- 5%
Tolerância de linearidade	+/- 0,25% independente
Rotação	3600°, + 10°, -0°
Potência	2 W
Resistência de isolamento	1000 M $\Omega$ , 500 Vcc
Força dielétrica	1000 V rms min 50 Hz
Voltagem final	0,25% da voltagem total aplicada

Vida útil

1.000.000 de revoluções do eixo

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

Para realizar a calibração do potenciômetro, o eixo do sensor foi acoplado ao centro de uma engrenagem de perímetro médio conhecido (43 cm), o que permitiu o cálculo do diâmetro da mesma, conforme Figura 5. O valor do perímetro da engrenagem foi multiplicado pelo número de voltas do potenciômetro, determinando, portanto, seu curso total em escala milimétrica. Os dados foram medidos pelo sistema proposto, e os valores de deslocamento medidos em uma escala métrica de precisão fixada paralelamente a uma cremalheira sobre a qual a engrenagem girava. Os pares de dados obtidos, foram analisados através de regressões lineares para comprovar a linearidade do sensor utilizado.

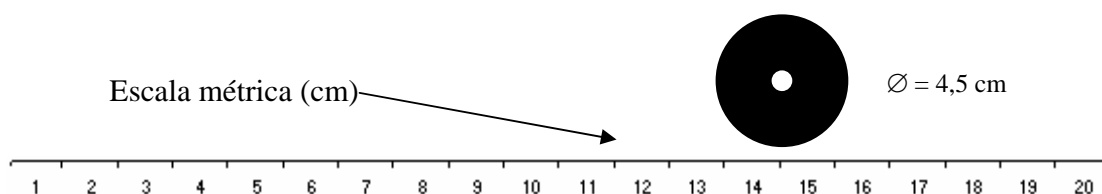


Figura 5. Modelo do ensaio para o potenciômetro.

### 5.1.1.3 Módulo amplificador de sinais analógicos – não diferencial

Foi projetado e construído um circuito impresso com a finalidade de amplificar as tensões fornecidas pelos sensores tipo não diferencial (“single ended”) – um fio (potenciômetros, contadores de volta, termômetros, entre outros) que fornecem suas respectivas informações em microvolt, milivolt ou Volt.

Para a construção deste módulo foram utilizados os seguintes componentes eletrônicos:

- placa de cobre;
- regulador de voltagem modelo 7808;

- resistores: R1 - 1 k $\Omega$ ; R2 – 470 k $\Omega$ ; R3 – 1 k $\Omega$ ; R4 – 10 k $\Omega$ ; R5 – 100 k $\Omega$ ; R6 – 12 k $\Omega$ ; R7 – 12 k $\Omega$ ; R8 – 10 k $\Omega$ ;
- amplificador operacional modelo LM 339;
- transistores (T1 e T2), modelo BC 547;
- fusível (2 A) e porta fusível;
- conectores padrão DB9 (9 pinos);
- lâmpadas, interruptor e cabo (4 x 26 mm);
- caixa plástica (30 x 20 x 14 cm).

#### 5.1.1.4 Módulo amplificador de sinais analógicos - diferencial

Foi utilizado um amplificador de sinais específico para utilização em sinais diferenciais (dois fios), como por exemplo, o sinal originado por uma célula de carga. O equipamento empregado para esta função, de fabricação nacional, foi adquirido da Novus, modelo TxRail, conforme descrito na Tabela 6 e mostrado na Figura 6.

Tabela 6. Especificações técnicas do amplificador.

<b>Descrição</b>	<b>Características*</b>
Alimentação	12 a 30 Vcc
Tensão de entrada	0 a 50 mV (configurado pelo usuário)
Isolamento	1000 Vca por 1 minuto
Temperatura de operação	- 40° a +85 °C
Umidade Ambiente	0 a 90 % UR
Proteção interna	Contra inversão de polaridade
Tensão de saída	0 a 10 Vcc (linear em relação ao sinal de entrada)
Resolução da saída	0,025V (12 bits)
Corrente máxima de saída	2 mA
Precisão	0,2%
Tempo de resposta	< 100 ms

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

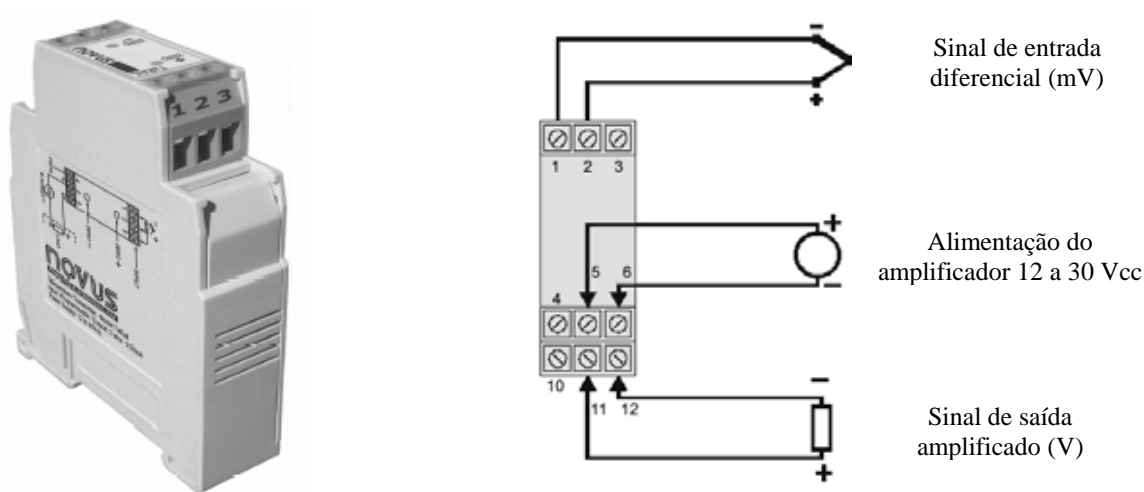


Figura 6. Vista em perspectiva do amplificador (esquerda) e esquema de ligação (direita).

### 5.1.1.5 Módulo conversor de sinais analógico/digital

Utilizou-se um conversor analógico/digital de baixo custo fabricado pela Measurements Computing (Estados Unidos), modelo PMD-1208LS, conforme ilustra a Figura 7 (Measurements Computing, 2005). O conversor analógico-digital converte um nível de tensão de entrada em um dado digital de 11 até 32 bits, dependendo do modo de operação do equipamento.

Este conversor pode funcionar com oito canais de entrada analógica não diferencial (11 bits de resolução máxima) ou quatro canais de entrada diferencial (12 bits de resolução máxima), dois canais de saída analógica (10 bits) e um canal contador de eventos (32 bits), e que disponibiliza as informações digitais através de uma interface USB (“Universal Serial Bus”, Figura 8), conforme o fluxograma apresentado na Figura 9.

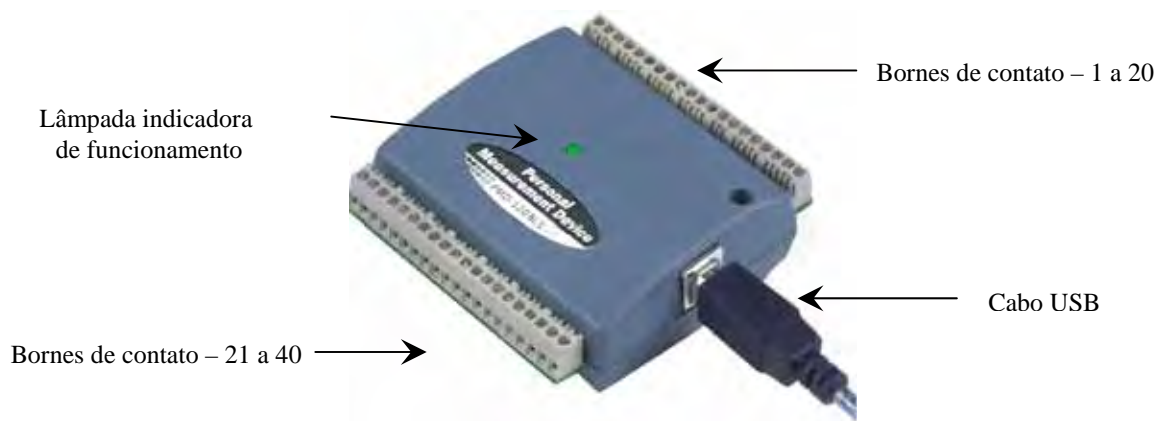


Figura 7. Conversor PMD-1208LS.



Figura 8. Cabo padrão USB (esquerda) e terminais do cabo (direita), o terminal “A” conecta-se ao computador industrial e o “B” conecta-se no conversor A/D.

As especificações deste conversor podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7. Especificações técnicas do conversor analógico/digital.

<b>Parâmetro</b>	<b>Condições</b>	<b>Características*</b>
Alimentação	Conectado a porta USB	+ 5 Vcc, 20 mA
Compatibilidade	Porta USB	USB 1.1 - baixa velocidade e USB 2.0 - alta velocidade
Temperatura de operação		- 40°C até + 85°C
Umidade		0 até 90% não condensada
Dimensões		79 mm de largura 82 mm de comprimento 25 mm de altura
Tipo de conector		Terminais de parafusos
Voltagem de entrada para operações lineares, modo não diferencial	CHx até GND	+ - 10 Vcc max
Voltagem de entrada para operações lineares, modo diferencial	CHx até GND	-10 Vcc min, + 20 Vcc max
Voltagem de entrada máxima absoluta	CHx até GND	+ - 40 Vcc max
Número de canais	Seleção via “software”	8 não diferencial ou 4 diferencial
Faixas de entrada – não diferencial		+ - 10 Vcc
Faixas de entrada – diferencial	Seleção via “software”	+ - 20V; + - 10V; + - 5V; + - 4V; + - 2,5V; + - 2,0V; + - 1,25 V; + - 1,0 V.
Resolução	não diferencial	11 bits
	diferencial	12 bits
Velocidades	“Software”	50 S/s
	Amostragem	1,2 kS/s
Acurácia	CAL = 2,5V	0,05%

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

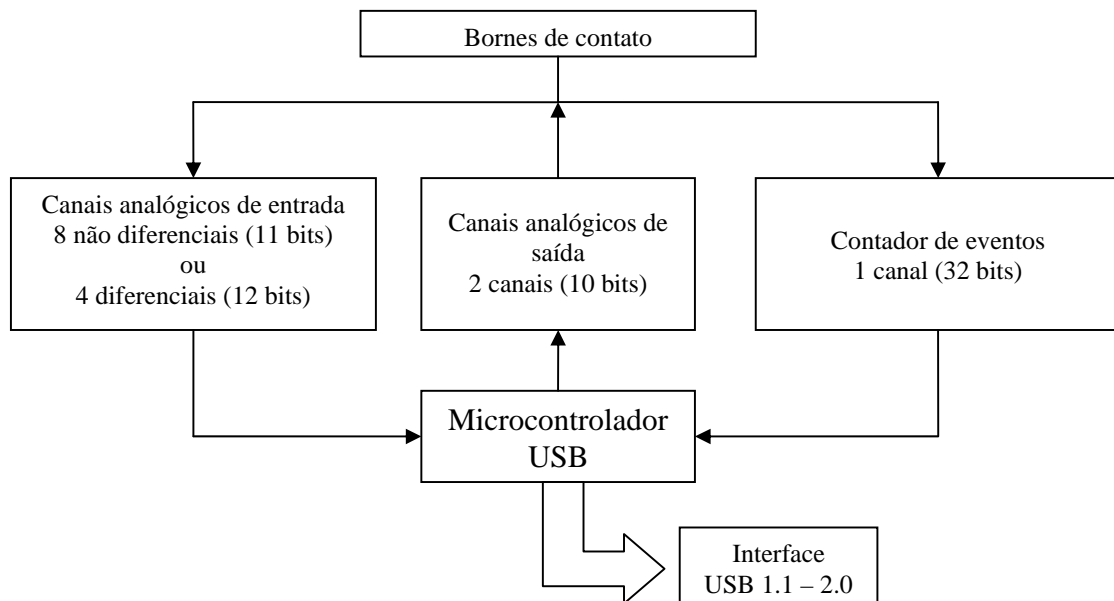


Figura 9. Fluxograma das funções do conversor.

#### 5.1.1.6 Computador industrial

Utilizou-se um computador industrial portátil com capacidade para executar o programa computacional desenvolvido no MS-Visual Basic 6.0 e que, também, apresenta aptidão para as aplicações na agricultura de precisão devido a sua robustez, portabilidade e conectividade.

Uma característica importante neste equipamento é o fato da alimentação necessária para seu funcionamento ser de 12 Vcc, não necessitando de adaptadores ou conversores de tensão.

O computador industrial selecionado, conforme apresenta a Figura 10, foi o da KEE Technologies Powering Farm Production (Austrália), modelo ZYNX V 2.0, e suas características estão descritas na Tabela 8 (KEE, 2002).



Figura 10. Vista frontal do computador industrial (esquerda) e traseira (direita).

Tabela 8. Descrição do computador industrial.

Item	Características*
Processador	Cyrix GEODE
Velocidade	300 MHz
Memória RAM	128 Mb
Memória em disco rígido	540 Mb
Sistema operacional	MS – Windows 98 SE
Tela	Matriz ativa, sensível ao toque, 6 polegadas, resolução máxima de 640 x 800 pixels
Comunicabilidade / Acessibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 - portas seriais COM (RS-232C)</li> <li>2 - portas paralelas</li> <li>2 - portas USB</li> <li>1 - porta CAN / BUS</li> <li>1 - porta VGA externa</li> <li>1 - placa de rede (LAN - 10/100 mbps)</li> <li>2 - conectores PS2 para mouse e teclado</li> <li>1 - micro falante</li> </ul>
Peso	2,5 kg
Alimentação	12 Vcc

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

### 5.1.1.7 Fonte de alimentação

Para garantir a alimentação do receptor GPS e do computador industrial foi utilizada uma bateria automotiva, selada e recarregável de 12 Vcc / 70 Ah. O módulo conversor analógico/digital foi alimentado através da interface USB com o computador industrial.

O módulo amplificador de sinais - não diferencial e os sensores que, por ventura, sejam conectados a este módulo, devem ser alimentados por uma bateria selada e recarregável de 12 Vcc / 3,3 Ah.

O módulo amplificador de sinais – diferencial e o sensor que estiver conectado a este módulo, deve ser alimentado por uma segunda bateria selada e recarregável de 12 Vcc / 3,3 Ah.

As duas baterias de 12 Vcc / 3,3 Ah foram acondicionadas em uma caixa plástica (24 x 16,5 x 10,5 cm), vedada contra a entrada de poeira e com um interruptor e uma lâmpada indicadora de operação.

## **5.1.2 Métodos**

### **5.1.2.1 Sinais analógicos**

A montagem do sistema de aquisição e armazenamento de dados foi realizada no NEMPA/FCA-UNESP (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas) para configuração e adequação dos componentes eletrônicos envolvidos.

O ensaio teve por objetivo verificar se os sensores analógicos (célula de carga e potenciômetro) e o sinal do receptor GPS seriam condicionados e armazenados pelo sistema proposto. Toda a instrumentação foi instalada na Unidade Móvel de Amostragem de Solos – UMAS, ilustrada pela Figura 11, sendo ela um equipamento para avaliar o funcionamento do sistema proposto, além de servir de base para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do programa computacional dedicado para esta operação.



Figura 11. Vista lateral da Unidade Móvel de Amostragem de Solo (UMAS).

A UMAS estava equipada com um penetrômetro hidráulico-eletrônico, conforme descrito por Lanças et al. (2005), que apresenta uma célula de carga, para determinação da resistência do solo à penetração, e um potenciômetro, para determinação da profundidade de trabalho.

O sistema proposto, através da célula de carga existente na UMAS, conforme mostra a Figura 12, registrou a força de resistência do solo à penetração. A célula de carga utilizada era um transdutor passivo que necessita de alimentação elétrica para produzir um sinal elétrico de resposta, gerado em milivolts (mV).

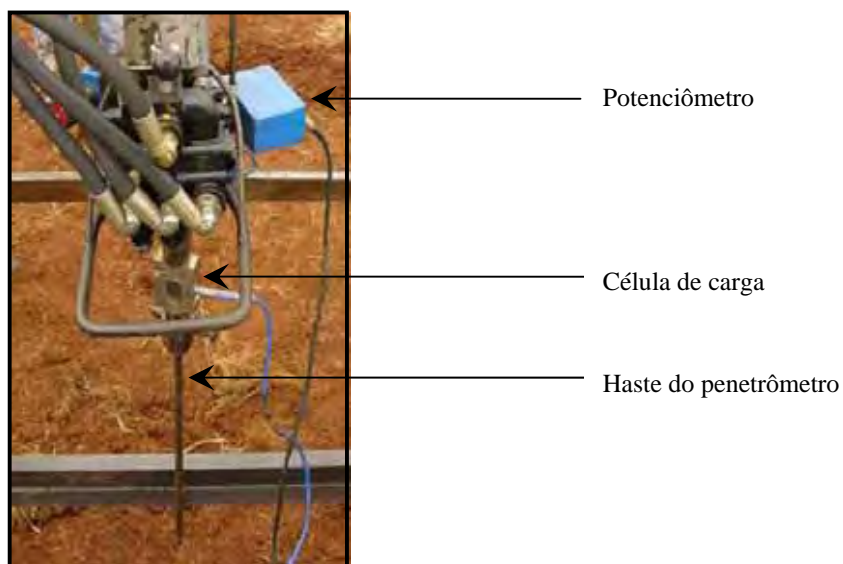


Figura 12. Vista detalhada do penetrômetro hidráulico-eletrônico.

Para a determinação da profundidade da haste no solo foi utilizado o potenciômetro multi-voltas que fornece sua informação em uma grandeza elétrica (miliVolt ou Volt), proporcional à tensão de excitação, sendo nestas condições utilizado o Volt.

Os sinais gerados pelos sensores foram condicionados, ou seja, sofreram uma filtragem, uma amplificação e, finalmente, a conversão em informação digital. Os sinais elétricos gerados pelos transdutores (célula de carga e potenciômetro) são de intensidade muito baixa, podendo sofrer grandes interferências por ruídos, e, por isso, realizou-se a filtragem nos sinais para não transmitir a informação degradada. A amplificação foi necessária para reduzir a perda de informação ao longo do trajeto entre o sensor e o computador industrial.

Os sinais gerados pelos sensores que foram filtrados e amplificados são sinais elétricos analógicos (Volt) e, portanto, ilegíveis ao computador industrial que é um dispositivo digital, isto é, só consegue captar dois tipos de informação, o 0 ou o 1 (binário lógico). Para que o computador captasse as informações amplificadas dos sensores foi necessário o uso de um conversor analógico/digital.

Com os dados convertidos para a lógica binária (sistema digital) o computador industrial atuou como um indicador e coletor de dados. Para isso, foi desenvolvido um programa computacional baseado na linguagem MS - Visual Basic 6.0, que fornece um ambiente de desenvolvimento de aplicativos, ou instrumentos virtuais, baseado em programação gráfica. O programa computacional dedicado para esta aplicação teve como funções a configuração, o controle e o monitoramento da aquisição de dados. A frequência de aquisição e processamento de sinais operou com uma razão de 3 (três) pontos por segundo (3,33 Hz), para cada um dos canais de medição utilizados.

Para a avaliação de grandezas físicas e mecânicas de interesse, relativas ao equipamento desenvolvido, a frequência de aquisição de dados utilizada pode ser considerada bastante aceitável, conforme relatam Lanças et al. (2005).

Os dados foram gravados na forma de arquivos eletrônicos em um dispositivo do tipo unidade de disco rígido, com capacidade livre de 250 Mb.

Os arquivos inicialmente foram gravados em formato texto (\*.txt) com separação de informações por colunas. O próprio programa desenvolvido fez o descarte das informações desnecessárias durante a coleta de dados.

### 5.1.2.2 Sinais do receptor GPS

Para interpretação da informação de posicionamento do equipamento, gerado pelo receptor GPS, utilizou-se o protocolo no formato NMEA 0183. No sistema proposto empregou-se a sentença \$GPGGA que fornece informações de tempo, fixação de posição (latitude e longitude no formato decimal), fundamental para o projeto, além de outras informações menos relevantes.

A sentença \$GPGGA é composta de quinze campos mais um campo de controle do sistema (“checksum”) e fornece informações sobre a posição georeferenciada e a hora universal na coordenada do receptor GPS. A estrutura da sentença \$GPGGA (GGA: Geographic position, Latitude and Longitude) pode ser observada nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9. Estrutura da sentença \$GPGGA.

\$	GPGGA	,	hhmmss.ss	,	ggmm.mmmm	,	N/S	,	ggmm.mmmm	,	E/W	q	,	nn	,	pp.p	,	aaaa.a	,	M	,	sss.s	,	M	,	aa	aaaa	*	CS	<CR>	<LF>
----	-------	---	-----------	---	-----------	---	-----	---	-----------	---	-----	---	---	----	---	------	---	--------	---	---	---	-------	---	---	---	----	------	---	----	------	------

Tabela 10. Descrição dos campos \$GPGGA.

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>
hh mm ss.s	Tempo UTC em horas, minutos, segundos e fração do segundo
gg mm. mmmm	Latitude no formato de graus, minutos e décimos de minuto
N/S	Direção da Latitude - Norte e Sul
gg mm. mmmm	Longitude no formato de graus, minutos e décimos de minuto
E/W	Direção de Longitude – Leste e Oeste
q	Indicador de qualidade: 0 (sem GPS), 1 (GPS) e 2 (DGPS)
nn	Número de satélites usados para o ponto
pp.p	HDOP = 0.0 até 9.9
aaaa.a	Altitude da antena
M	Unidade de altitude, M = metros
sss.s	Separação geoidal em metros
M	Separação geoidal M = metros
aa	Idade dos dados do DGPS
aaaa	Identificação da estação de referência: 0 a 9999 (DGPS)
*	Delimitador de Checksum
CS	Checksum
CR	Carriage Return
LF	Line Feed

## 5.2 Sistema atual

### 5.2.1 Sistema de aquisição de dados

Para monitorar e gravar continuamente os sinais gerados pelos sensores analógicos, o sistema atual era composto por um modelo Micrologger CR10X, fabricado pela Campbell Scientific, Inc., e seus periféricos conforme mostra a Figura 13.

As principais características do sistema atual estão apresentadas na Tabela 11.

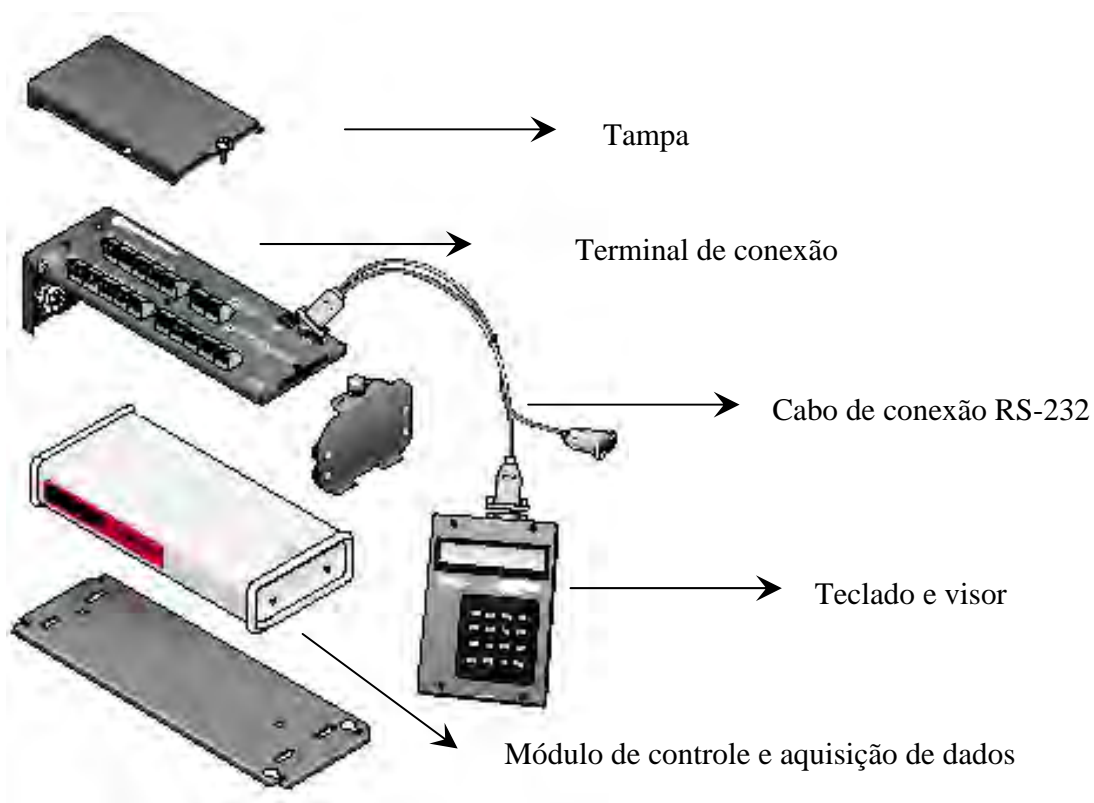


Figura 13. Ilustração do sistema atual de aquisição de dados.

Tabela 11. Características técnicas do sistema atual de aquisição de dados.

<b>Descrição</b>	<b>Características *</b>
Modelo	CR10X
Alimentação	9.6 a 16 Vcc
Entrada de canais analógicos	6 diferenciais ou 12 não diferenciais
Canais contadores de pulso	2 (8 bits) ou 1 (16 bits)
Portas de controle digital	8 (voltagem 0 a 5 V)
Saída analógica contínua	1
Resolução analógica	0,33 microvolts
Faixa de temperatura padrão	- 5 a + 50 °C
Memória RAM	1 Megabyte
Dimensões	19 x 9 x 4 cm

\* Informações obtidas no catálogo do fabricante.

### 5.2.2 Receptor GPS

O sistema de localização geográfica atual era composto de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) fabricado para uso agrícola, da marca Trimble, modelo AgGPS 132 FlightBar, conforme descrito na Tabela 12 (Trimble, 1999) e ilustrado na Figura 14.

Tabela 12. Especificações do receptor GPS.

<b>Descrição</b>	<b>Características*</b>
Modelo	AgGPS 132
Alimentação	10 VDC até 32 VDC
Consumo	7 Watts (máximo)
Temperatura de operação	- 20 até + 65 °C
Vibração / Choque	3g, 5 – 1200 Hz / +- 40 g
Canais	12 canais de recepção, L1, C/A
Tempo para fixar posição	< 30 segundos
Mensagens NMEA	ALM, GGA, GLL, GSA, GSV, VTG, MSS, RMC, ZDA, GRS, GST, PTNLID, PTNLDG
Frequência de mensagens NMEA	Até 5 Hz
Frequência padrão de mensagens NMEA	1 Hz

\* Informações obtidas no manual de operação, fornecido pelo fabricante.

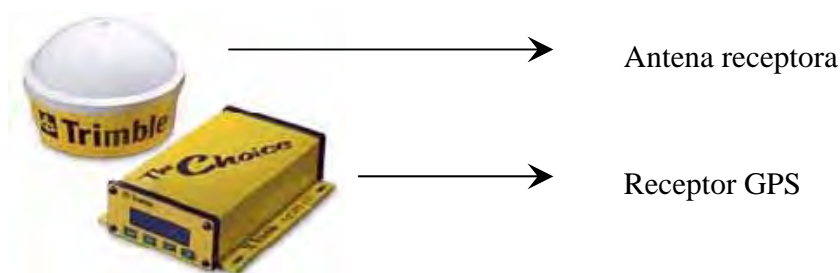


Figura 14. Receptor e antena AgGPS 132.

### 5.3 Avaliação dos receptores GPS

Foi realizada uma avaliação estática comparativa com os dois receptores GPS envolvidos no projeto. Para tanto, o receptor GPS Kit ORB2002 e o Trimble AgGPS 132 ficaram estacionados no marco geodésico de Botucatu, localizado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP) durante o 1 hora.

Após a comprovação da qualidade da informação gerada pelos receptores GPS, um teste dinâmico foi realizado. Foram coletados 18 pontos para cada receptor dentro de um alinhamento preestabelecido com espaçamento de 20 metros entre os pontos. Todos os dados foram coletados no mesmo dia, dentro de um intervalo de 3 horas, sendo que primeiro foi realizada a coleta com o receptor Kit ORB2002 e na seqüência o receptor AgGPS 132.

### 5.4 Análise comparativa de custos

Foi realizada uma análise de custo entre o sistema de aquisição de dados proposto e o atual, e, em separado, para os receptores GPS, sendo que os parâmetros considerados para composição dos custos foram: depreciação do equipamento, manutenção e juros.

Tanto o preço do sistema atual, quanto o preço dos componentes do modelo proposto, foram considerados novos, e obtidos junto ao mercado durante o segundo semestre de 2005. Os preços do CR10X, do computador industrial e do receptor GPS Trimble foram obtidos em dólar e o valor de conversão utilizado foi de R\$ 2,50 para cada US\$ 1,00.

A depreciação foi estimada pelo método dos números naturais, considerando 5 anos de vida útil dos equipamentos. Os juros considerados foram de 11% ao ano (baseado nos juros anuais da poupança) e referem-se ao custo de oportunidade do capital e não a financiamento externo, e as despesas de manutenção em 5%, ao ano, sobre o valor total de investimento referem-se aos custos para manter o equipamento funcionando sem alterar o valor do ativo.

O método dos números naturais, proposto por Hoffmann et al. (1989), foi utilizado onde a distribuição do custo de depreciação ocorre mais intensamente nos primeiros anos de uso e de maneira mais leve nos últimos anos. Neste método a depreciação de cada ano é uma fração da quantia a amortizar, fração essa cujo denominador é a soma dos números de anos de vida útil do bem de capital e o numerador é o número de anos de vida útil restante do equipamento.

A Equação 1 descreve método utilizado para o cálculo do custo de depreciação dos dois sistemas:

$$D = (A / (1 + 2 + \dots + A)) * V_{\text{inicial}} \quad (1)$$

Onde:

D = custo de depreciação;

A = número de anos de vida útil;

V = valor de aquisição.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Sistema proposto

#### 6.1.1 Fonte de alimentação

As duas baterias de 12 Vcc / 3,3 Ah, foram montadas como uma fonte independente de energia, para os dois diferentes tipos de sinais e seus respectivos amplificadores. A tensão não apresentou oscilações ou ruídos, variando menos de 0,2 Vcc durante um dia de operação (8 horas), devido ao baixo consumo de energia (menos de 40 mAh). A Figura 15 mostra a montagem do sistema de alimentação na caixa plástica.



Figura 15. Cabo de alimentação (esquerda) e vistas em perspectiva do sistema de alimentação (centro e direita).

### 6.1.2 Sistema condicionador de sinais A/D

O sistema condicionador de sinais A/D foi composto pelo módulo amplificador de sinais analógicos – não diferencial, módulo amplificador de sinais analógicos – diferencial e módulo conversor de sinais analógico/digital. Este sistema foi o responsável pela distribuição de alimentação aos sensores analógicos, aquisição das informações, filtragem dos ruídos, amplificação e digitalização das informações.

O módulo amplificador de sinais analógicos - não diferencial (um fio), foi desenvolvido em uma placa de circuito impresso com oito canais independentes subdivididos em dois microprocessadores para quatro canais cada, que amplificam as tensões de entrada em microvolt, milivolt ou Volt ( $\mu\text{V}$ ,  $\text{mV}$  e  $\text{V}$ ), conforme Figura 16.

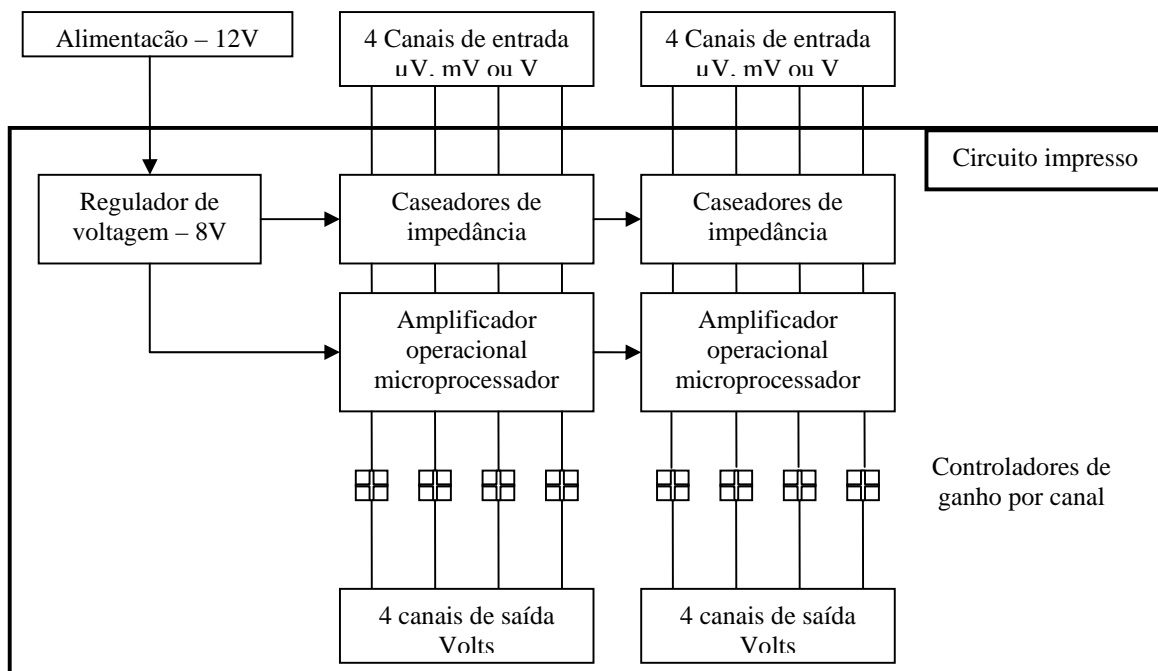


Figura 16. Diagrama em blocos do módulo amplificador de sinais - não diferencial.

Este circuito impresso necessitava de uma alimentação externa de 12 Vcc, posteriormente, rebaixada, filtrada e estabilizada para 8 Vcc. Para essa finalidade foi utilizado um regulador de voltagem (modelo 7812). O amplificador de sinais foi baseado em microprocessadores, caseadores de impedância, amplificadores operacionais e controladores de ganho independentes para cada canal a ser amplificado.

A Figura 17 apresenta o diagrama eletrônico para um canal do módulo amplificador de sinais – não diferencial. Na representação, os sinais em milivolt (mV) entram no módulo através de um conector 9 pinos (DB9) e após amplificados, cada canal pode ser ligado ao módulo conversor analógico/digital. Os oito (8) canais existentes neste módulo apresentam o mesmo diagrama elétrico, portanto, o mesmo procedimento para realizar a amplificação dos sinais e, posteriormente, a conexão com o conversor A/D.

O ganho teórico deste módulo variou de 0 a 10000 vezes o valor inicial de entrada, sendo o valor máximo de saída inferior ao valor da tensão de alimentação (8 Vcc), podendo ser ajustado manualmente através dos controladores de ganho.

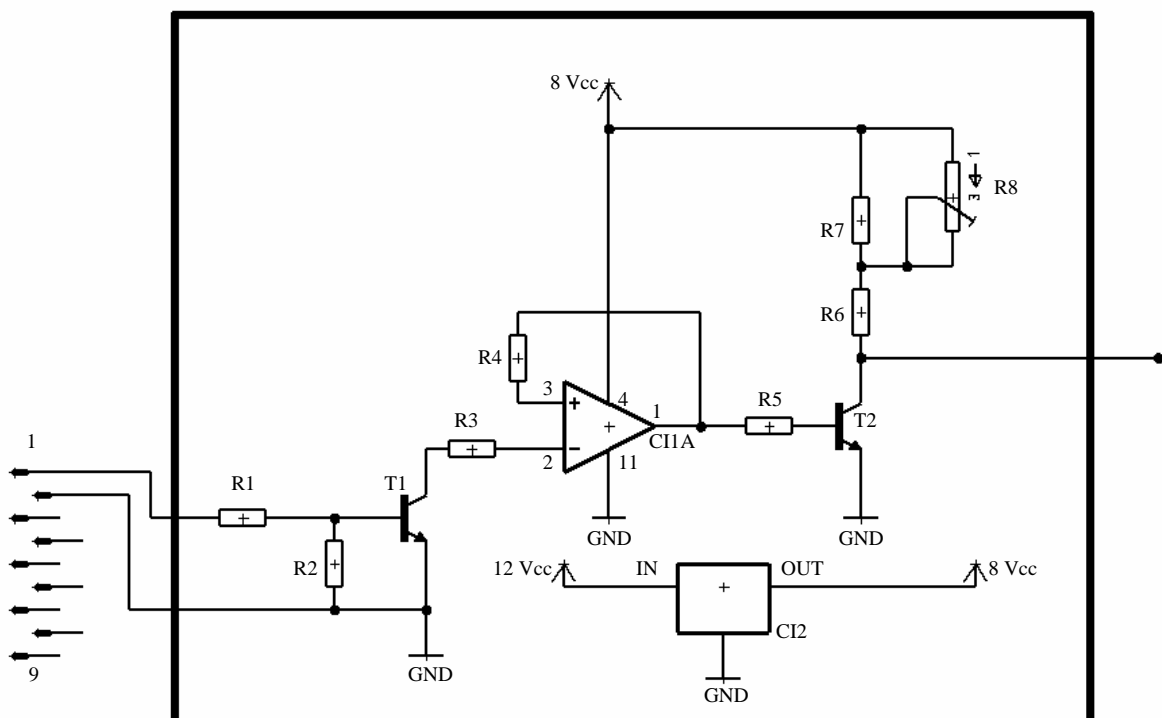


Figura 17. Diagrama eletrônico do módulo amplificador de sinais - não diferencial.

O módulo amplificador de sinais analógicos - diferencial (dois fios), foi montado independente do módulo amplificador de sinais analógicos – não diferencial. Este módulo possui apenas um canal de entrada em milivolt (0 a 50 mV), ampliando para uma tensão de saída entre 0 e 10 V, sendo que o equipamento necessitou de uma alimentação de 12 Vcc.

O sistema proposto foi montado em uma caixa, onde todos os componentes ficaram protegidos dos fatores ambientais que, por ventura, pudessem ocasionar danos ao equipamento. As Figuras 18 e 19 apresentam o sistema proposto.

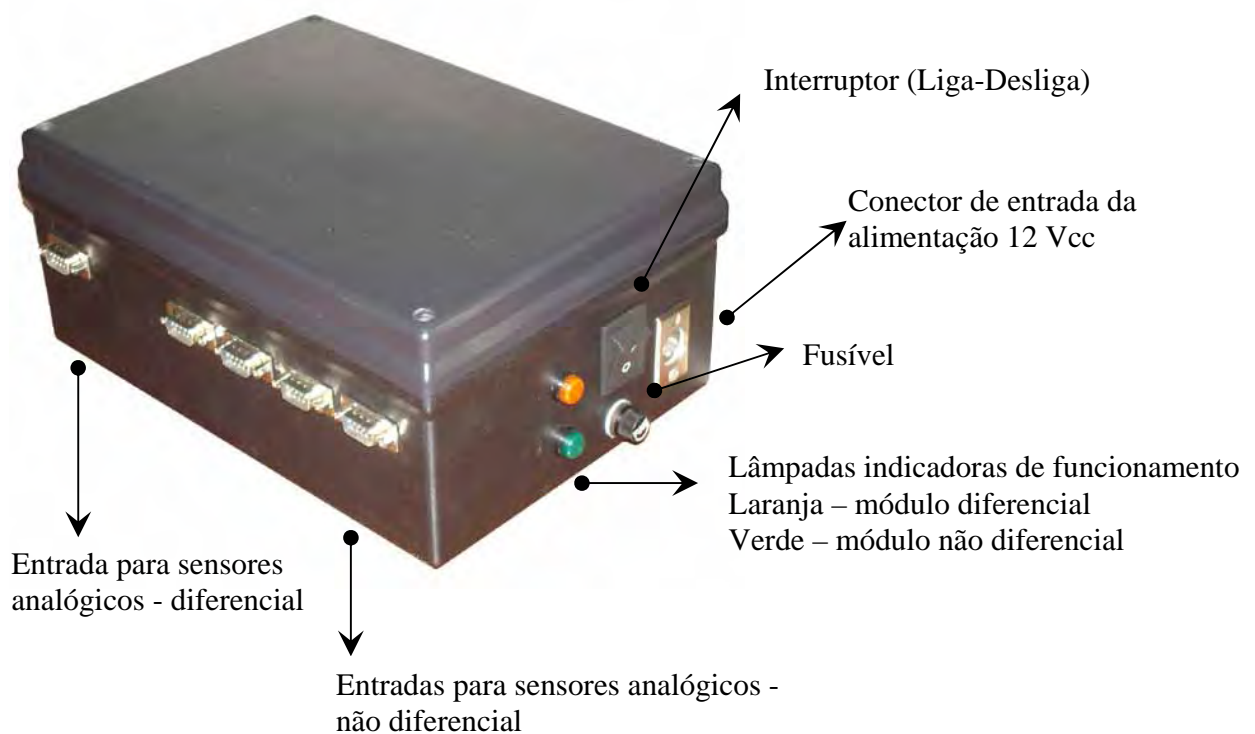


Figura 18. Vista geral do sistema condicionador de sinais A/D.

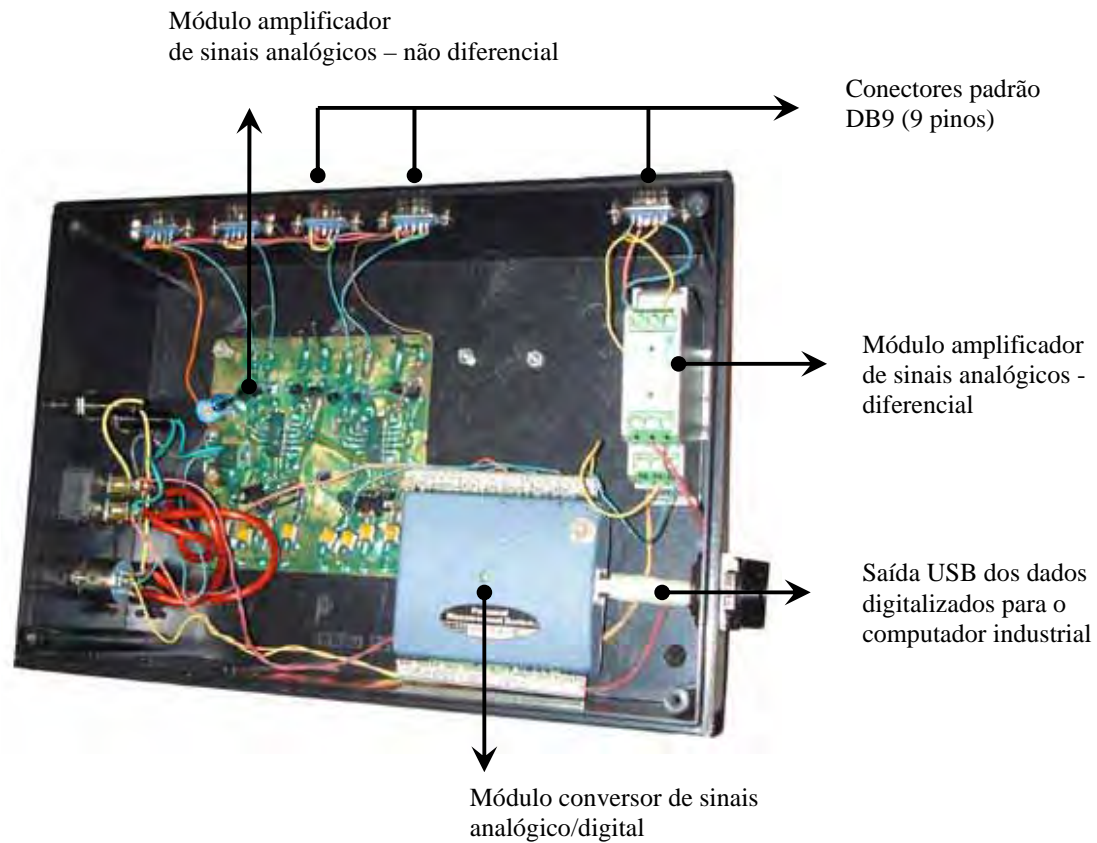
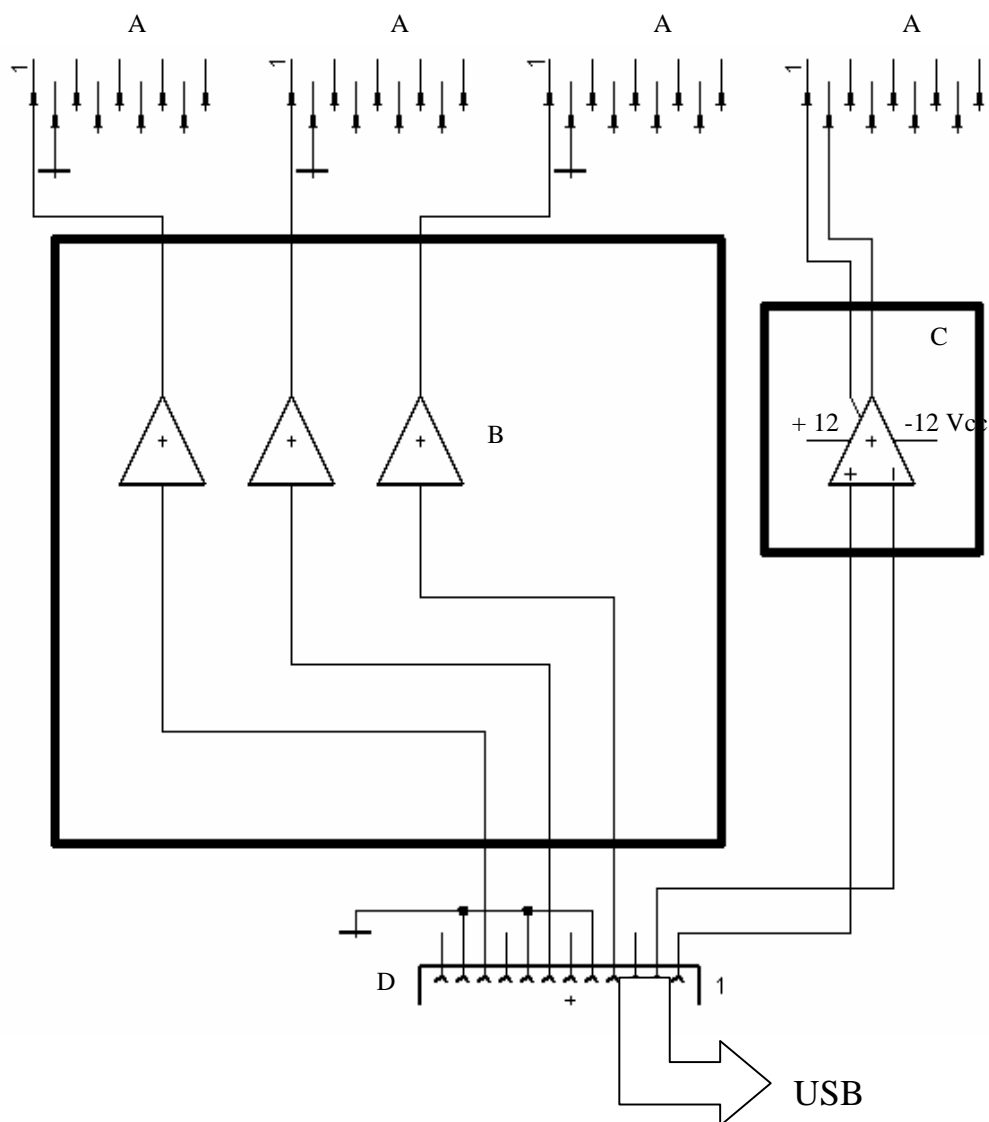


Figura 19. Vista geral de todos os módulos do sistema proposto.

A Figura 20 mostra como foram realizadas as ligações elétricas dos sensores e seus respectivos módulos amplificadores, bem como a relação deles com o módulo conversor de sinais A/D, constituindo, dessa forma, o sistema condicionador de sinais A/D. Nesta representação encontram-se apenas os conectores e canais de amplificação que foram utilizados no projeto.



Onde:

A = conectores padrão DB9;

B = módulo condicionador de sinais – não diferencial;

C = módulo condicionador de sinais – diferencial;

D = módulo conversor analógico/digital.

Figura 20. Esquema elétrico do sistema condicionador de sinais A/D.

A Figura 21 mostra o diagrama em blocos do funcionamento do sistema condicionador A/D, bem como a centralização de suas informações, acrescidas das informações do receptor GPS, no computador industrial.

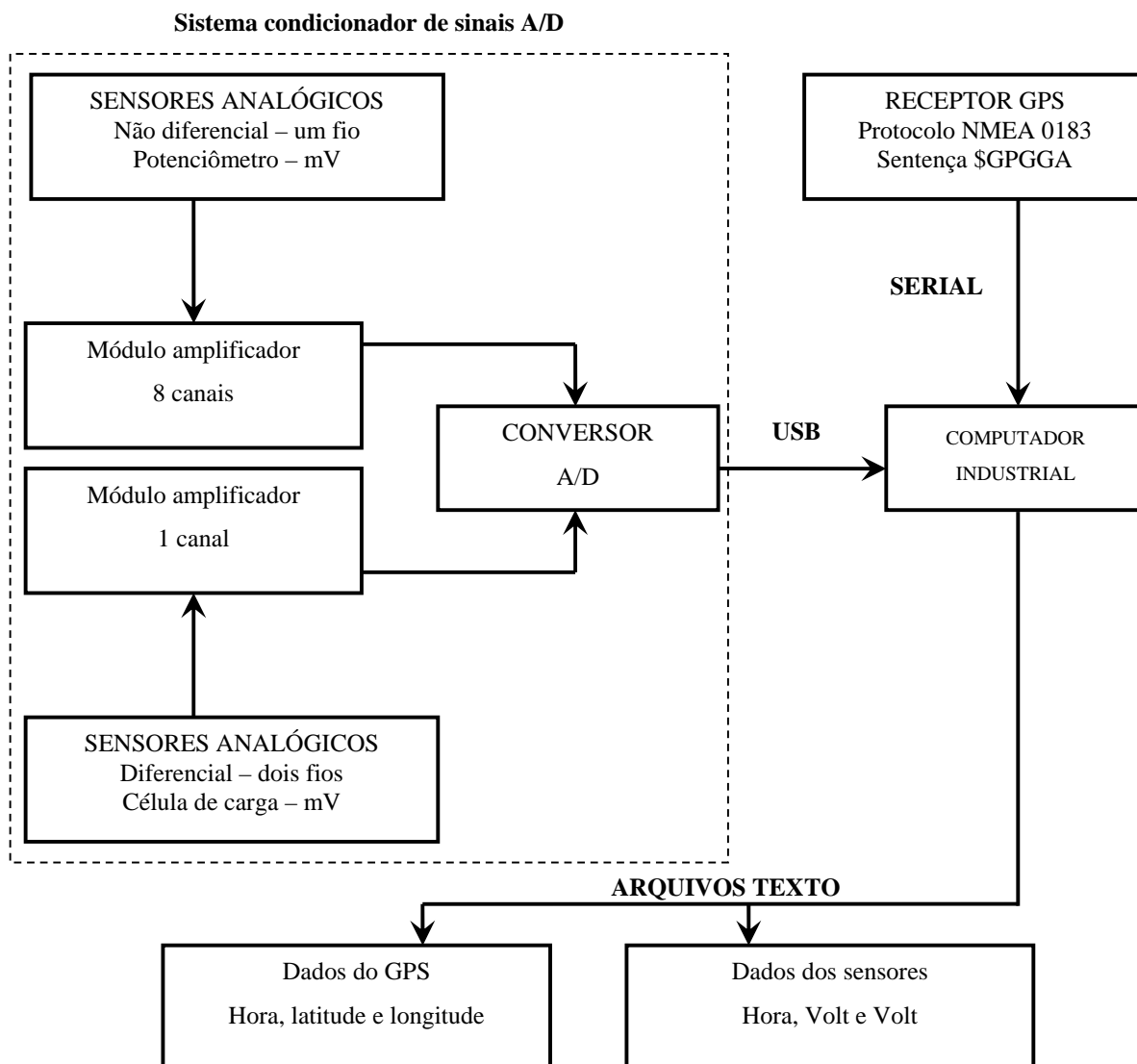


Figura 21. Diagrama em blocos do sistema de aquisição de dados.

A Figura 22 apresenta uma vista da fonte de alimentação, do sistema condicionador de sinais A/D, do computador industrial e do receptor GPS, elementos constituintes do sistema proposto neste trabalho.

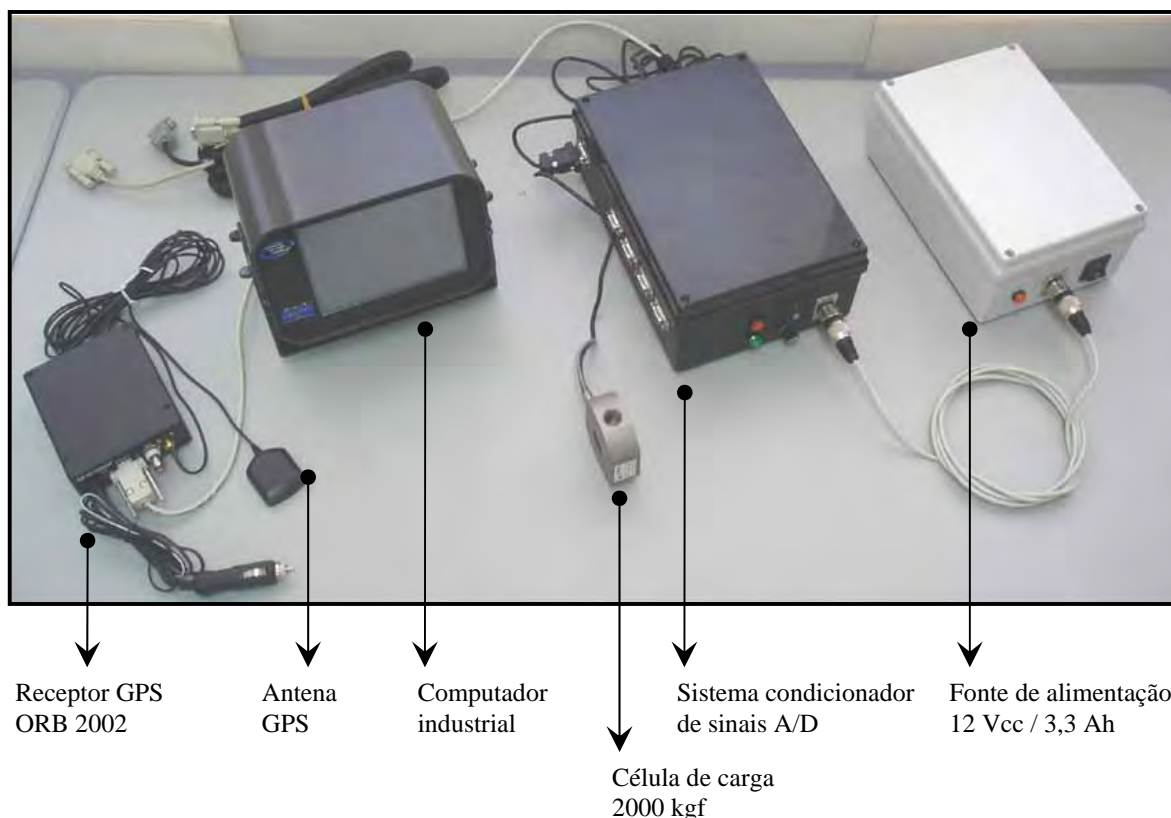


Figura 22. Vista geral do sistema proposto.

O sistema proposto neste trabalho segue as configurações propostas por Yule et al. (1999), Storino et al. (2000), Perret et al. (2000) e Mazzetto & Landonio (1999), que desenvolveram sistemas que combinam o registro das informações de posicionamento geográfico, baseadas no sistema GPS, com informações oriundas de sensores analógicos. Esses trabalhos utilizam diversas formas de armazenamento de dados, como disco rígidos, cartões padrão PCMCIA ou “chips” de memória.

A utilização de uma interface de comunicação USB, foi de encontro com os benefícios relacionados por Datatranslation (2005), que relatou as vantagens da utilização da USB para módulos de aquisição ou conversão analógico/digital. Dentre elas, pode-se citar: alta velocidade de transmissão de dados, facilidade de alimentação (computador fornece energia ao conversor), portabilidade, flexibilidade, facilidade na conexão com diferentes microcomputadores e expansibilidade.

O sistema desenvolvido segue os conceitos citados por Ribas et al. (2005), Kanazawa & Lacerda (1999) e Omata et al. (1992) que desenvolveram uma interface simples, de baixo custo e fácil manutenção, sem placas de circuito impresso sofisticada ou equipamentos super dimensionados. Além disso, o sistema proposto apresentou características de versatilidade e flexibilidade propostas por Omata et al. (1992) e Engber & Glanzman (1993), sendo que esta necessidade vem forçando as indústrias de eletrônicos a projetarem e oferecerem produtos com comunicação USB para conexão com os microcomputadores (Datatranslation, 2005).

O sistema de aquisição proposto ficou de acordo com o preconizado por Igarashi et al. (2003), onde o sistema deve ser modular e compatível com a arquitetura dos microcomputadores. Essas características são importantes, pois facilitam a mudança e adaptação do sistema a diferentes aplicações, difundem e disponibilizam a tecnologia e o conhecimento aos usuários dos microcomputadores. O fato da comunicabilidade com os microcomputadores ser importante é devido à velocidade de processamento, preço dos equipamentos e facilidade de uso desses equipamentos.

Barros (2000) credita a vantagem do uso de microcomputadores para aquisição de dados à facilidade de armazenar uma enorme quantidade de informações e de redução da quantidade de cabos que se conectam aos coletores. Utilizando uma interface homem máquina, os sistemas informatizados, substituem completamente os antigos sistemas baseados nos programadores lógicos programáveis (CLP ou PLC), reduzindo drasticamente os custos de aquisição, montagem e manutenção do sistema.

### 6.1.3 Programa computacional - Coletor

A linguagem computacional escolhida para o desenvolvimento do programa computacional, que proporcionou coleta e o armazenamento das informações, foi o MS–Visual Basic 6.0, pois esta linguagem apresenta facilidade de uso e de manutenção pelos usuários do produto desenvolvido.

O programa computacional foi desenvolvido com o intuito de realizar a leitura, o tratamento e o armazenamento dos dados oriundos de uma porta serial (RS-232C) e uma porta USB (1.1 ou 2.0), de forma individualizada ou conjunta, e foi denominado “Coletor”. Este programa computacional, assim como qualquer programa utilizado para este tipo de aplicação, permite ao usuário realizar funções sofisticadas com o mínimo esforço.

O “Coletor” pode ser utilizado e configurado de forma simplificada e todas as variáveis envolvidas na transferência de dados podem ser configuráveis pelo usuário, necessidades que um programa computacional deve apresentar, conforme relatam Watzlawik et al. (1992) e Bork et al. (2001).

Na Figura 23 é apresentado o fluxograma simplificado utilizado para o desenvolvimento do programa.

A Figura 24 apresenta a tela de abertura e configuração das informações GPS (porta serial) e do penetrômetro (porta USB), bem como a aquisição conjunta das informações das portas serial e USB. A Figura 25 apresenta uma tela com a aquisição dos dados GPS e outra com os dados do penetrômetro, de forma independente.

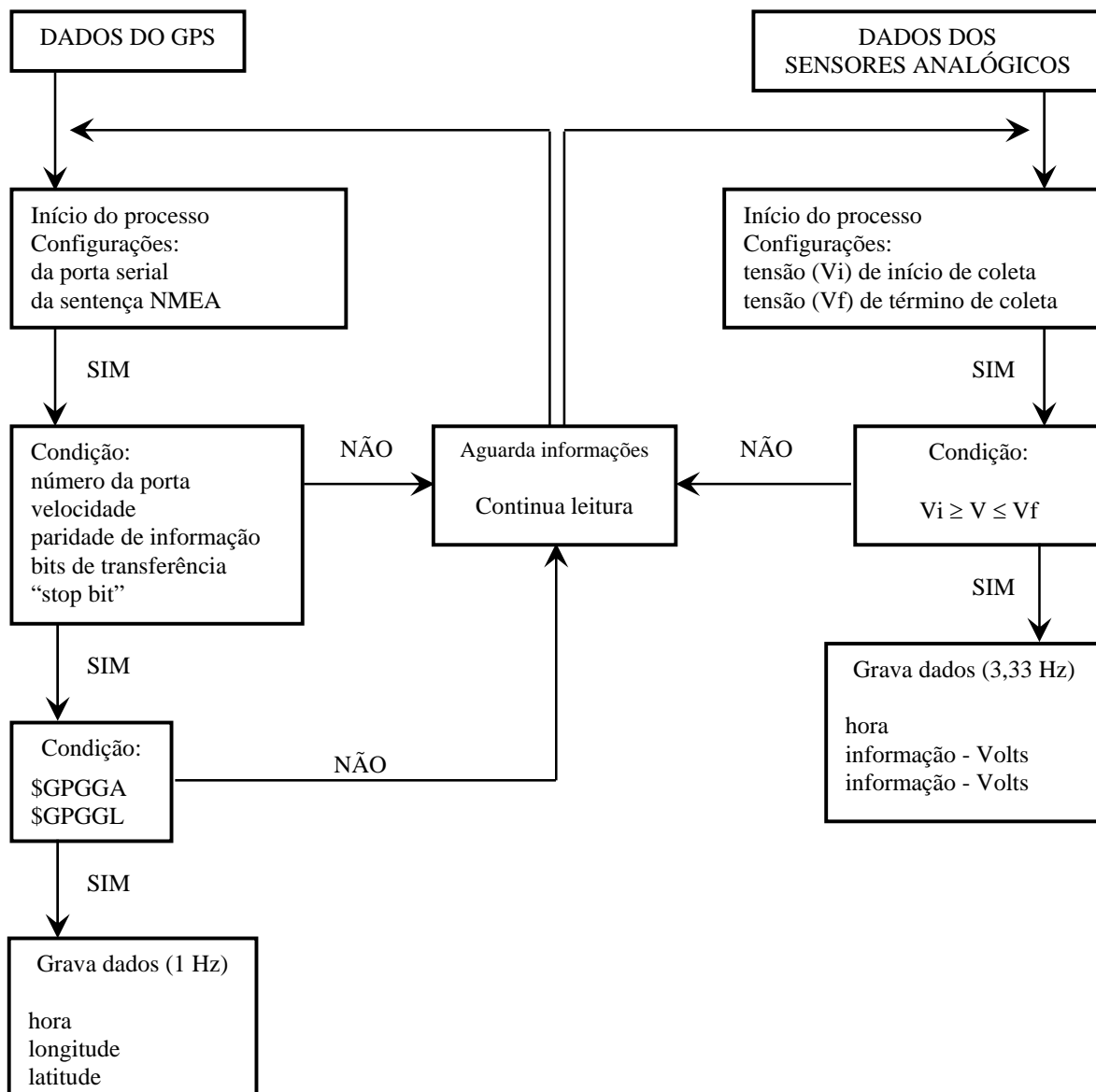


Figura 23. Fluxograma simplificado do programa “Coletor”.



Figura 24. Tela inicial (esquerda), e as informações do GPS e do penetrômetro sendo coletadas simultaneamente (direita).

Os dados que foram coletados encontravam-se arquivados no diretório de instalação do programa computacional, mas, ainda não puderam ser visualizados em tempo real, conforme sugerem Yule et al. (1996), Castelli & Mazzetto (1996) e Mazzetto (1996).



Figura 25. Coleta dos dados GPS (esquerda) e do penetrômetro (direita).

Os “scripts” ou o código fonte de programação do “Coletor”, desenvolvido no MS - Visual Basic 6.0, estão nos Apêndices 1 (formulário para as portas de comunicação), 2 (módulo de leitura da porta serial) , 3 (módulo de leitura da porta USB) e 4 (classe para arquivamento dos dados capturados pelas portas serial e USB).

### 6.1.3.1 Informações do receptor GPS

As informações obtidas através da porta serial são provenientes do receptor GPS. O receptor GPS é o equipamento que define a frequência de envio das informações de posicionamento ao sistema informatizado. O “Coletor”, portanto, neste caso, atuou como uma ferramenta passiva.

O receptor GPS Kit ORB 2002 RLP foi configurado de fábrica para enviar 10 sentenças do protocolo NMEA a cada segundo (1Hz), sendo que não é possível configurar o envio de apenas uma sentença pré-definida. A Tabela 13 mostra quais foram as sentenças enviadas ao sistema “Coletor”.

Tabela 13. Sentenças no formato do protocolo NMEA, a cada segundo\*.

<b>Tipo de sentença e informações</b>
\$GPZDA,111637.4,29,12,2005,*,*5E
\$GPRMC,111636.9,A,2250.8022,S,04826.0711,W,0000.12,090.32,291205,00.0,E*68
\$GPGSA,A,3,01,15,03,19,14,21,22,,,,,02.5,02.3,01.0*0D
\$GPGGA,111636.9,2250.8022,S,04826.0711,W,1,07,02.3,00857.2,M,-003.4,M,00,0000*7E
\$GPGLL,2250.8022,S,04826.0711,W,111636.9,A*32
\$GPVTG,090.32,T,090.32,M,0000.12,N,0000.22,K*4D
\$GPGSV,3,1,08,25,00,000,41,01,00,000,48,15,00,000,46,03,00,000,48*75
\$GPGSV,3,2,08,19,00,000,48,14,00,000,46,21,00,000,41,22,00,000,43*72
\$GPGSV,3,3,08,,,,,,,,,,,,,*71
\$ACSTM,AO,0,AS,0,RC,0,EP,0,RF,0,TS,1,*44

\* Informações obtidas no manual do fabricante

O programa computacional “Coletor” foi programado com a finalidade de excluir todas as sentenças indesejadas, retirando todas as informações desnecessárias salvando apenas uma sentença desejada. Depois de escolhido o tipo de sentença, o “Coletor” fez uma leitura das informações obtidas na sentença e salva somente três informações em um arquivo texto: hora (hora, minuto e segundo), latitude e longitude.

No “Coletor” existe uma área destinada aos dados gerados pelo receptor GPS, aonde é possível configurar:

- a porta serial utilizada para entrada de dados (COM 1, 2, 3 ou 4);
- a velocidade de transferência de dados (1200, 2400, 9600, 19200 ou 38400 Kbps);
- a paridade da informação (N – none, E – even ou O – odd);
- bits de transferência (7 ou 8);
- o “stop bit” (1 ou 0) e
- a sentença desejada, baseada no protocolo NMEA (\$GPGGA, \$GPGGL ou \$GPVTG).

Os dados registrados pelo “Coletor” foram armazenados em um arquivo no formato texto (\*.txt), gerado automaticamente pelo sistema. Todos os arquivos gerados foram denominados utilizando o formato mostrado na Equação 2 e ficaram salvos no mesmo diretório aonde foi instalado o programa computacional.

Serial\_ano\_mes\_dia\_hora\_minuto\_segundo (2)

Ex: Serial\_0005\_11\_27\_15\_23\_30

Onde:

Serial – informação sobre a origem do sinal;

ano – informação com 4 dígitos e

mes, dia, hora, minuto e segundo – informações com 2 dígitos cada.

A Figura 26 mostra um arquivo texto (\*.txt) gerado pelo “Coletor”, armazenando os dados de hora UTC e de posicionamento do receptor GPS, sendo que cada grupo de informações está separado por colunas, na primeira coluna a hora, na segunda coluna a longitude e na terceira coluna a latitude.

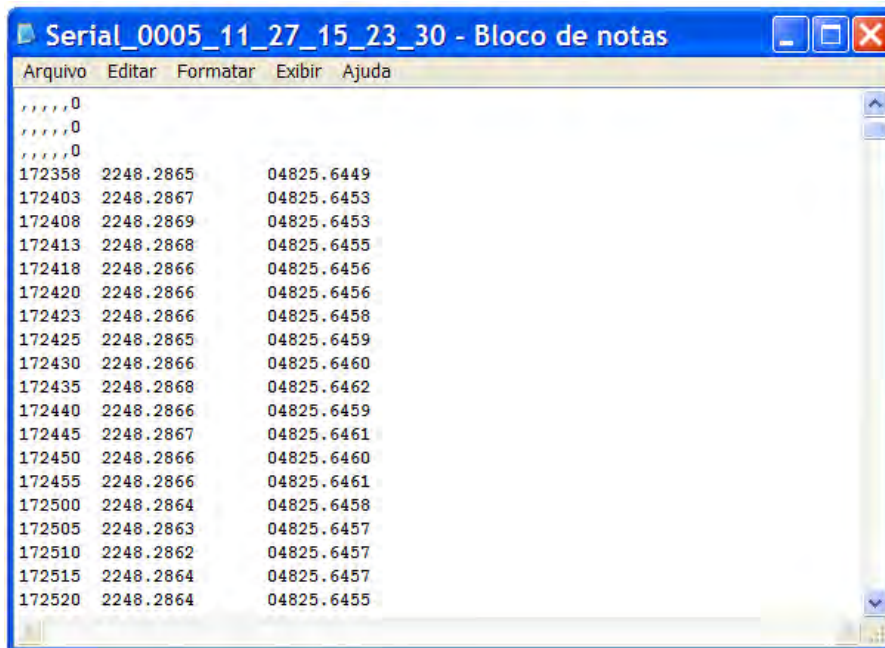


Figura 26. Arquivo tipo texto (\*.txt) visualizado no aplicativo “Bloco de notas”.

### 6.1.3.2 Informações dos sensores

As informações obtidas através da porta USB foram provenientes do sistema condicionador de sinais A/D.

Na área destinada ao penetrômetro foi possível configurar:

- Canal de entrada dos sensores no módulo A/D (0, 1, 2 e 3) e
- faixa de voltagem para início e término da coleta (0 a 20 V).

Os dados registrados pelo “Coletor” foram armazenados em um arquivo no formato texto (\*.txt), gerado automaticamente pelo sistema. Todos os arquivos gerados pelo programa computacional foram denominados utilizando o formato mostrado na Equação 3 e ficaram salvos no mesmo diretório aonde foi instalado o programa computacional.

USB\_ano\_dia\_mes\_hora\_minuto\_AM/PM (3)

Ex: USB\_0005\_17\_11\_02\_26\_PM

Onde:

USB – informação sobre a origem do sinal;

ano – informação com 4 dígitos e

dia, mês, hora, minuto e AM/PM (antes do meio-dia / após o meio dia), informações com 2 dígitos cada.

Os dados provenientes do sistema condicionador de sinais A/D foram armazenados a uma frequência de três informações por segundo (3,33 Hz). O arquivo apresenta na primeira coluna a hora de coleta da informação. Na segunda coluna os valores apresentados são os da célula de carga (em Volts), e na terceira coluna os valores do potenciômetro (em Volts).

A Figura 27 mostra um arquivo texto (\*.txt) gerado pelo “Coletor”, armazenando os dados da célula de carga e do potenciômetro.

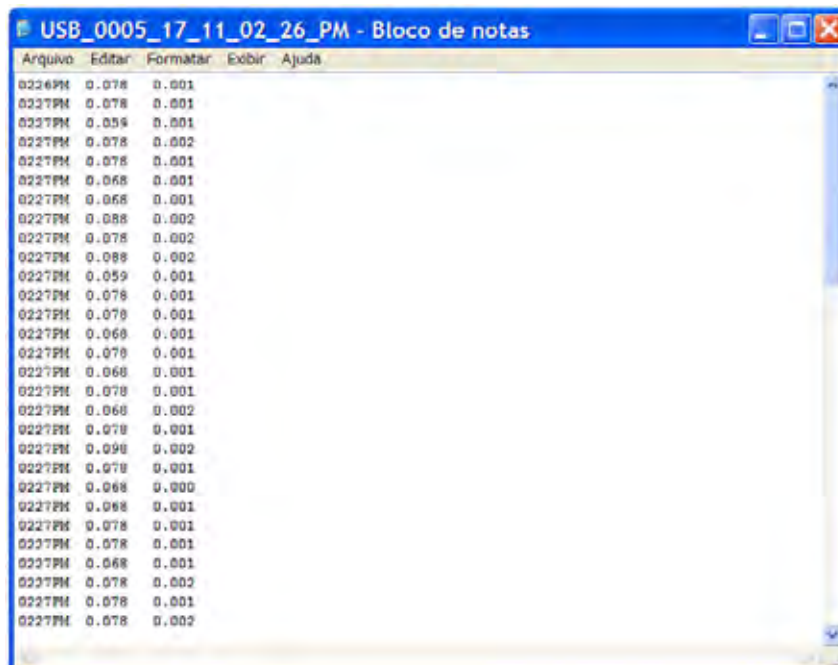


Figura 27. Arquivo tipo texto (\*.txt) visualizado no aplicativo “Bloco de notas”.

## 6.1.4 Calibração

### 6.1.4.1 Célula de carga

Após a montagem do sistema condicionador de sinais A/D e do desenvolvimento do programa computacional “Coletor”, todo o conjunto foi levado ao Laboratório de Análise de Materiais, do Departamento de Engenharia Rural, da FCA – UNESP/Botucatu.

No laboratório foi utilizada a prensa hidráulica, EMIC - DL10000, para gerar, com precisão, cargas a serem aplicadas na célula de carga usada no projeto.

O primeiro ensaio realizado teve por objetivo determinar a linearidade da célula de carga utilizada, verificar a sua precisão com relação aos valores gerados pela prensa, além de avaliar a linearidade do módulo amplificador de sinais analógicos – diferencial.

O resultado deste ensaio pode ser verificado na Figura 28, aonde o sinal fornecido pela célula de carga (miliVolt) foi amplificado (Volts), digitalizado e armazenado no computador industrial.

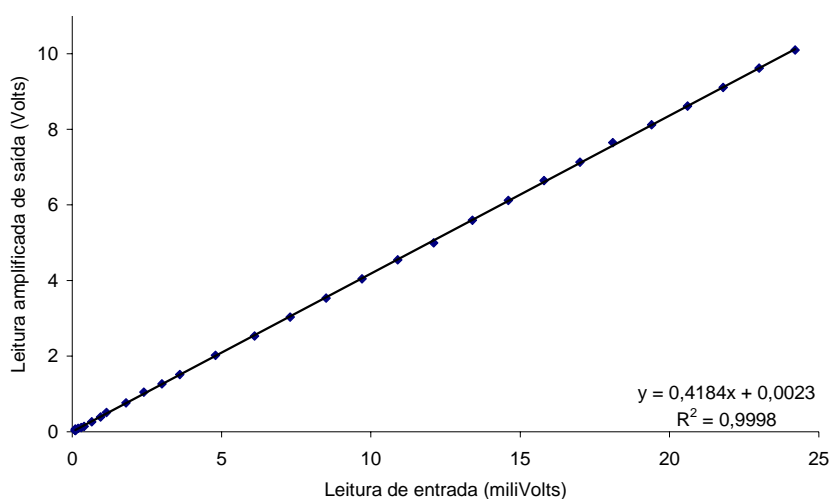


Figura 28. Relação do módulo amplificador de sinais analógicos – diferencial.

O segundo ensaio realizado teve por objetivo estabelecer uma relação entre os valores armazenados no computador industrial e a carga aplicada na célula de carga. A Figura 29 mostra esta relação entre a carga aplicada pela prensa e a correspondente tensão de saída amplificada (em Volts).

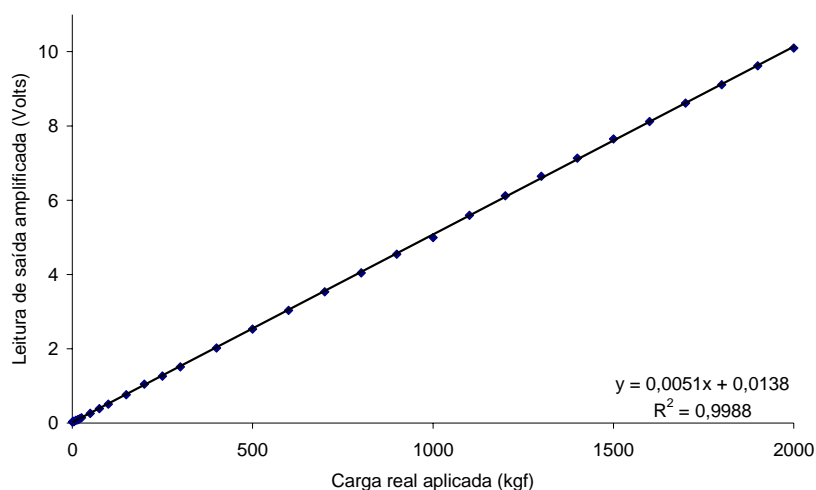


Figura 29. Relação entre a carga aplicada e a leitura amplificada da informação.

#### 6.1.4.2 Potenciômetro

Da mesma forma que para a célula de carga, o potenciômetro foi ensaiado para determinação da linearidade da resposta (V) em função do seu deslocamento. Seguindo a metodologia proposta neste trabalho, a equação da reta obtida a partir dos pares de dados levantados, gerou uma análise de regressão linear, permitindo que fosse verificado o alto grau de linearidade da informação gerada por este transdutor. A Figura 30 ilustra a variação de distância em relação ao sinal de saída do sensor (Volts x cm).

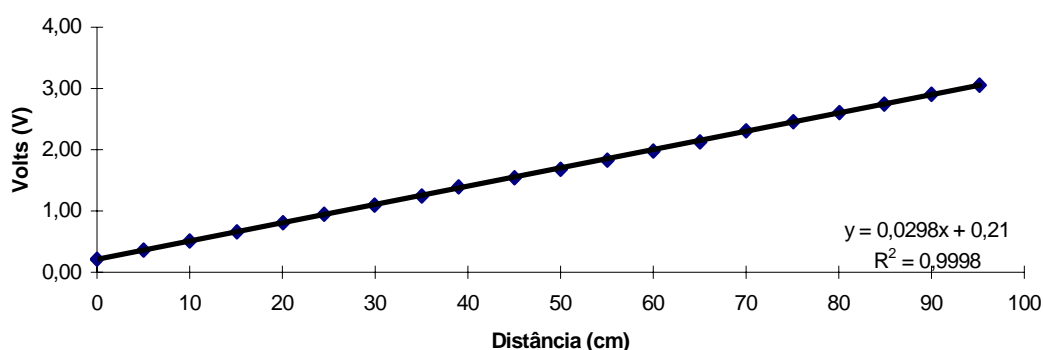


Figura 30. Relação entre a distância percorrida e a leitura da informação.

Para este ensaio pôde-se observar uma alta correlação entre a distância real (cm) e o valor final apresentado pelo potenciômetro (Volts) e, posteriormente, armazenando no computador industrial, o que foi fundamental para as aplicações a qual o sistema se propôs.

### 6.1.5 Avaliação dos receptores GPS

Foram realizadas duas avaliações comparativas entre os dois receptores GPS. Seguindo a metodologia proposta neste trabalho, a Figura 31 apresenta a distribuição espacial dos pontos amostrados durante o levando estáticos, além de contar com o posicionamento do marco geodésico do IBGE, localizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP/Botucatu-SP.

A Figura 32 mostra a distribuição espacial dos pontos amostrais quando amostragem em alinhamento e espaçamento predeterminado (“grid”). Em ambas as situações, estática e dinâmica, o erro máximo encontrado para o receptor GPS nacional foi de 1,67 metros e para o receptor GPS americano foi de 1,42 metros. Portanto, para a aplicação proposta neste trabalho, ambos os receptores podem ser considerados aptos para georeferenciamento das amostras da Unidade Móvel de Amostragem de Solo (UMAS).

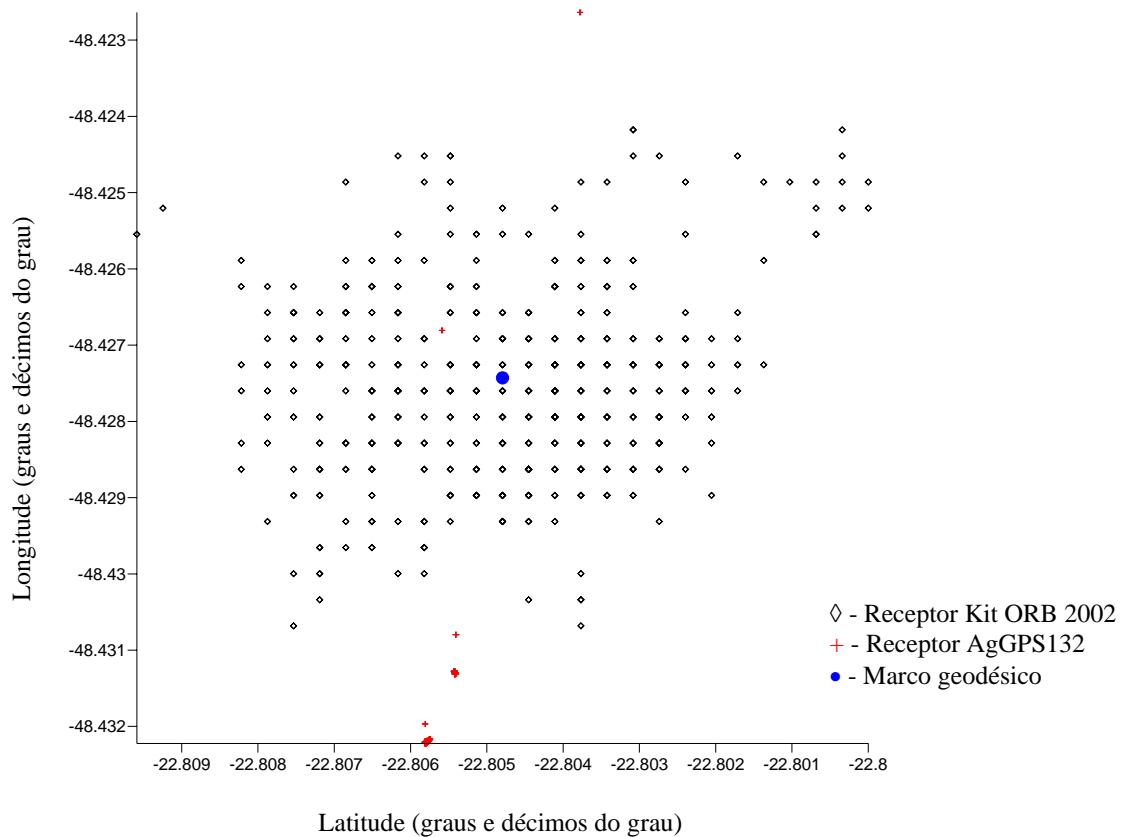


Figura 31. Posicionamento estático dos receptores GPS no marco geodésico.

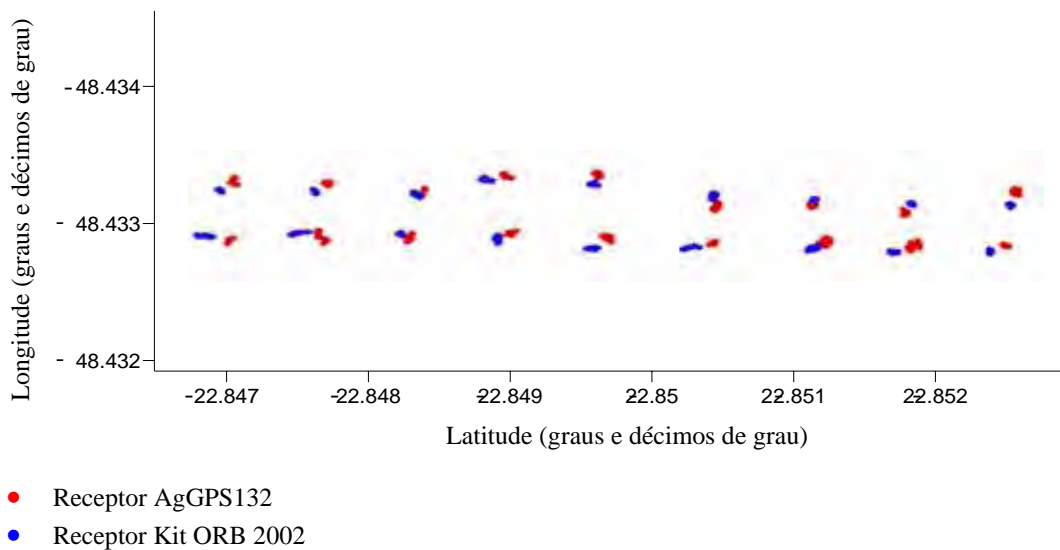


Figura 32. Pontos amostrais com os dois receptores.

### 6.1.6 Coleta de dados

Após a montagem dos equipamentos e a realização das calibrações, o sistema proposto estava apto para realizar um ensaio de campo, utilizando para tal, a UMAS (Unidade Móvel de Amostragem de Solo).

Foi realizado um ensaio na Fazenda Experimental Lageado, com dez pontos amostrais, aonde foram coletadas as informações da resistência do solo a penetração, da profundidade e o georeferenciamento das amostras. O arquivo de dados salvo pelo “Coletor” para os dados do penetrômetro (célula de carga e potenciômetro) estão dispostos no Apêndice 5 e o arquivo de dados do receptor GPS estão apresentados no Apêndice 6.

A Figura 33 apresenta o posicionamento das amostras, sendo utilizada a informação exatamente da maneira que foi salva no arquivo.

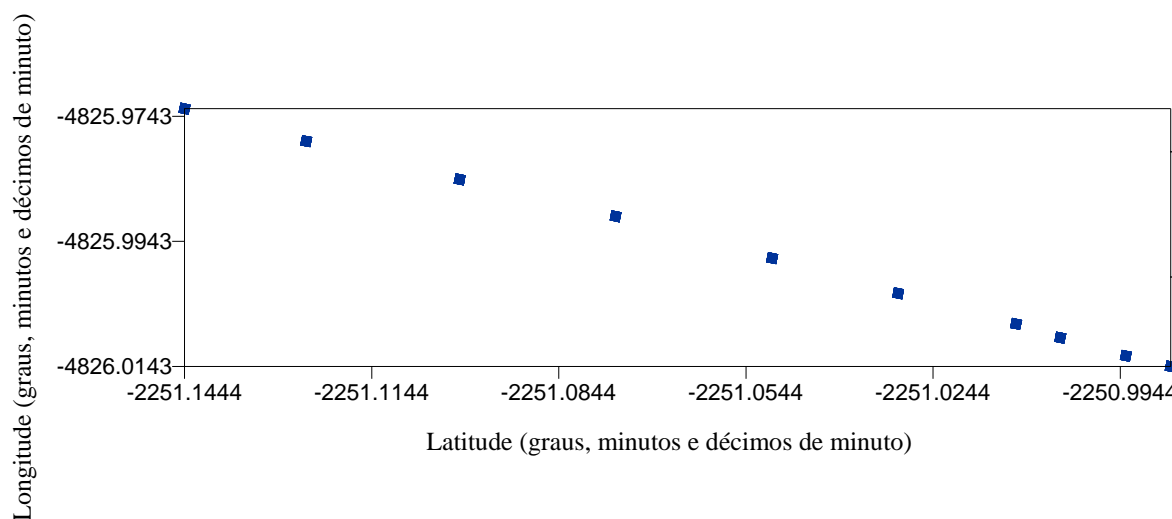


Figura 33. Distribuição geográfica dos pontos amostrais.

A Figura 34 apresenta o resultado de um ponto amostral, com relação aos valores apresentados pela célula de carga (resistência do solo a penetração) e potenciômetro (profundidade amostrada). As informações que geraram este gráfico foram obtidas do arquivo salvo pelo “Coletor” e não sofreram nenhum tipo de processamento de dados, ou seja, estão em Volts.

A Figura 35 apresenta o resultado do mesmo ponto amostral citado anteriormente, porém seus valores foram convertidos para as suas respectivas grandezas utilizando as equações de calibração dos sensores.

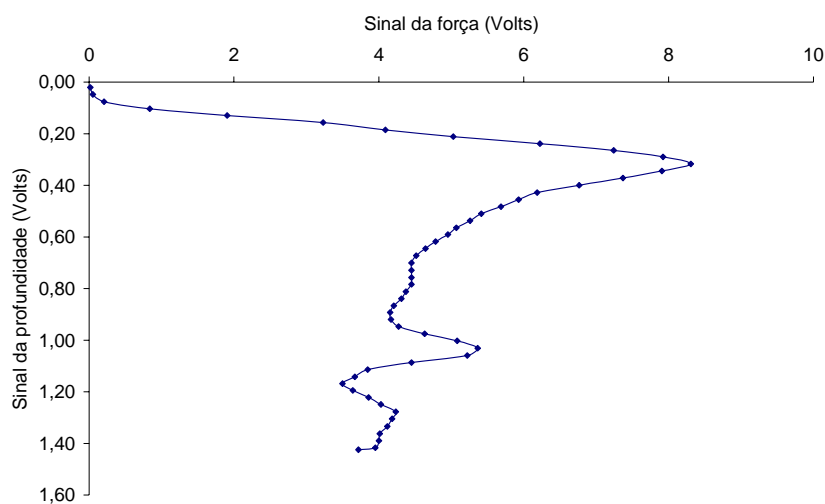


Figura 34. Resultado da resistência do solo à penetração em Volts.

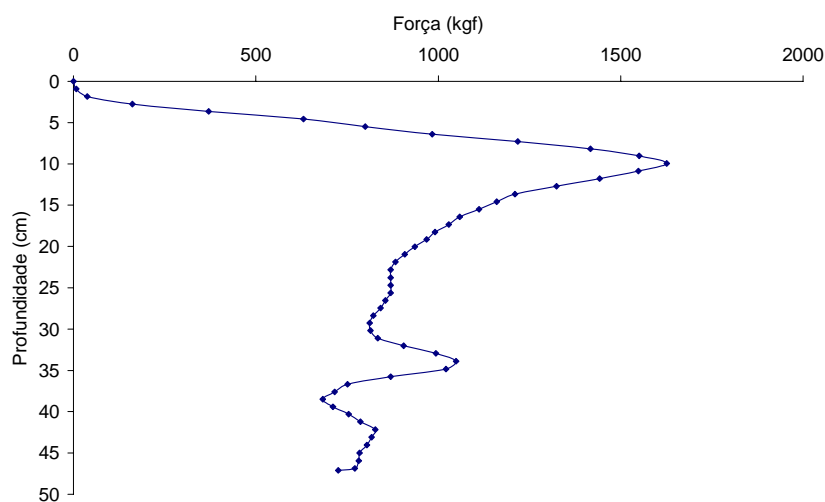


Figura 35. Resultado da resistência do solo à penetração em valores reais.

## 6.2 Análise comparativa de custos

### 6.2.1 Sistema de aquisição de dados

Para a determinação dos custos dos dois sistemas de aquisição e armazenamento de dados, foi elaborada uma planilha eletrônica, onde foram determinados os custos totais para implantação do sistema proposto, comparativamente ao sistema atual.

Considerou-se o custo total para aquisição e utilização para o primeiro ano, do sistema atual e do sistema proposto, sendo calculados em função da depreciação, manutenção e juros.

Inicialmente, foi realizado um levantamento de preços (Tabela 14), junto ao representante nacional da Campbell Scientific, para todos os componentes básicos necessários do sistema atual. Os dados apresentados abaixo representam o valor unitário em sua correspondente moeda, já com todos os impostos inclusos.

Tabela 14. Levantamento dos custos para aquisição do sistema atual.

<b>Componentes</b>	<b>Valor em US\$ *</b>
Coletor de dados CR10X	2.155,50
Terminal com teclado e visor de uma linha	483,00
Bateria recarregável	361,50
Interface serial padrão RS-232C	162,00
Software de programação e comunicação	681,00
Documentação, embalagem e frete interno nos USA	225,00
<b>Total</b>	<b>US\$ 4.068,00</b>

\* valores obtidos com a Campbell Scientific Brasil (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

A Tabela 15 apresenta o custo de aquisição para todos os componentes envolvidos no sistema proposto de aquisição de dados. Os dados apresentados abaixo representam o valor unitário, já com todos os impostos inclusos.

Tabela 15. Levantamento dos custos de aquisição do sistema proposto.

<b>Componentes</b>	<b>Valor em US\$*</b>	<b>Valor em R\$*</b>
Conversor analógico/digital (PMD-1208LS)		800,00
Amplificador de sinal mV-V (TxRail)		150,00
Cabo de configuração (TxConfig)		110,00
Placa amplificadora de sinal não diferencial		300,00
Bateria recarregável		160,00
Caixas para acondicionamento dos componentes		50,00
Materiais diversos (cabos, conectores, botões, ...)		200,00
Software de configuração e aquisição de dados		500,00
Computador industrial	1.200,00	
	<b>Total</b>	<b>US\$ 1.200,00</b>
		<b>R\$ 2.270,00</b>
		<b>Total US\$ 2108,00</b>
		<b>Total R\$ 5270,00</b>

\* custo dos componentes comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

O método de depreciação dos números naturais, citado por Hoffmann et al. (1989), atende as normas da legislação do Imposto de Renda (IRPJ) que determina, para efeito de depreciação de microcomputadores, o prazo de 5 anos.

No entanto, esta taxa não pode ser considerada realista para todas as situações, em função da velocidade do avanço tecnológico dos dias de hoje.

Existe jurisprudência criada em casos onde é legalmente permitido o cálculo através da depreciação acelerada em 3 anos, também prevista na legislação do IRPJ e na Medida Provisória MPV n°. 252 (Brasil, 2005).

A Medida Provisória n°. 252 (Brasil, 2005) institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação - REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital, dispõe sobre incentivos fiscais para a inovação tecnológica e dá outras providências.

Portanto, empresas que utilizam o prazo de 5 anos para depreciação de seu parque computacional apuraram um custo menor nos primeiros anos. Porém, ao final do terceiro ano, quando os equipamentos tiverem de ser substituídos por obsolescência, precisaram realizar uma perda de 40% do ativo, segundo Sector (2005).

A Tabela 16 mostra a análise de custo para o equipamento atual e a Tabela 17 mostra a análise para o equipamento proposto, aonde a depreciação utilizada aconteceu para um prazo não acelerado de 5 anos, com custos de manutenção de 5% e juros de 11% em relação ao valor inicial de aquisição. Nota-se a inclusão do custo variável para a bateria, equipamento que fornece a energia para o funcionamento do sistema.

Tabela 16. Análise de custo para o sistema atual.

Componentes	Valor de aquisição	Depreciação	Manutenção	Juros	Custo Variável	Custo Total
Coletor de dados CR10X	2.155,50	718,50	107,78	118,55		US\$ 944,83
Terminal com teclado e visor de uma linha	483,00	161,00	24,15	26,57		US\$ 211,72
Bateria recarregável	361,50	120,50	18,08	19,88	180,75	US\$ 339,21
Interface serial padrão RS-232C	162,00	54,00	8,10	8,91		US\$ 71,01
Software de programação e comunicação	681,00	227,00	34,05	37,46		US\$ 298,51
Documentação, embalagem e frete interno nos USA	225,00	75,00	11,25	12,38		US\$ 98,63
					Custo Total	<b>US\$ 1.963,91</b> <b>R\$ 4.909,78</b>

\* custo dos componentes comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

Tabela 17. Análise de custo para o sistema proposto.

Componentes	Valor de aquisição	Depreciação	Manutenção	Juros	Custo Variável	Custo Total
Conversor analógico/digital (PMD-1208LS)	320,00	106,67	16,00	17,60		US\$ 140,27
Amplificador de sinal mV-V (TxRail)	60,00	20,00	3,00	3,30		US\$ 26,30
Cabo de configuração	44,00	14,67	2,20	2,42		US\$ 19,29
Placa amplificadora de sinal - SE	120,00	40,00	6,00	6,60		US\$ 52,60

**Continua →**

<b>Continuação da Tabela 17</b>						
Bateria recarregável	64,00	21,33	3,20	3,52	32,00	US\$ 60,05
Caixas para acondicionamento dos componentes	20,00	6,67	1,00	1,10		US\$ 8,77
Materiais diversos	80,00	26,67	4,00	4,40		US\$ 35,07
Software de configuração e aquisição de dados	200,00	66,67	10,00	11,00		US\$ 87,67
Computador industrial	1200,00	400,00	60,00	66,00		US\$ 526,00
					Custo Total	<b>US\$ 956,02</b> <b>R\$ 2.390,05</b>

\* custo dos componentes comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

Comparando os resultados das Tabelas 16 e 17, o valor do sistema proposto corresponde a 48,7% do valor do sistema atual, portanto menos da metade do custo do sistema atualmente utilizado.

Entretanto, esta análise pode não corresponder totalmente à realidade, visto que o equipamento atual possui 6 canais diferenciais ou 12 não diferenciais, ao passo que o sistema proposto possui 4 canais diferenciais ou 8 não diferenciais. Na tentativa de resolver a diferença da quantidade de canais, foi realizada uma outra análise de custo para o equipamento proposto, onde, foi acrescentado um segundo conversor analógico/digital, que proporciona o aumento do número de canais. Portanto, para a nova situação, apresenta-se um sistema com 8 canais diferenciais ou 16 não diferenciais. Essa análise pode ser realizada devido a modularidade existente no sistema proposto. Sendo assim, a Tabela 18 apresenta os dados da nova situação, com a adição de um conversor analógico/digital e três amplificadores de sinal ao sistema original.

Tabela 18. Análise de custo para a nova situação.

Componentes	Valor de aquisição	Depreciação	Manutenção	Juros	Custo Variável	Custo
(US\$)						
2 - conversores analógico/digital (PMD-1208LS)	600,00	200,00	30,00	33,00		US\$ 263,00
4 - amplificador de sinal mV-V (TxRail)	240,00	80,00	12,00	13,20		US\$ 105,20
Cabo de configuração	44,00	14,67	2,20	2,42		US\$ 19,29
Placa amplificadora de sinal - SE	120,00	40,00	6,00	6,60		US\$ 52,60
Bateria recarregável	64,00	21,33	3,20	3,52	32,00	US\$ 60,05
Caixas para acondicionamento dos componentes	20,00	6,67	1,00	1,10		US\$ 8,77
Materiais diversos	80,00	26,67	4,00	4,40		US\$ 35,07
Software de configuração e aquisição de dados	200,00	66,67	10,00	11,00		US\$ 87,67
Computador industrial	1200,00	400,00	60,00	66,00		US\$ 526,00
					Custo Total	<b>US\$ 1.157,65</b> <b>R\$ 2.984,12</b>

\* custo dos componentes comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

Comparando os resultados das Tabelas 16 e 18, a relação de custo do sistema proposto, baseado na sua nova situação, e o sistema atual, corresponde a 60,8% do custo total do sistema atual, ou seja, o equipamento criado nesta situação ainda se apresenta vantajoso em relação ao equipamento atual, e agora, com a capacidade de possuir mais canais de entrada.

### 6.2.2 Receptor GPS

Para a determinação comparativa de custos dos receptores GPS, foram calculados os custos fixos e variáveis para implantação do sistema proposto. Considerou-se o custo total para aquisição e utilização para o primeiro ano, do receptor Trimble e do receptor Orbisat, sendo calculados em função da depreciação, manutenção e juros.

Inicialmente, foi realizado um levantamento de preços (Tabela 19), junto ao representante nacional da Trimble e ao fabricante do receptor Orbisat, sendo que os dados apresentados correspondem aos valores unitário em sua correspondente moeda, já com todos os impostos inclusos.

Tabela 19. Levantamento dos custos de aquisição dos receptores GPS.

<b>Equipamento</b>	<b>Valor em US\$*</b>	<b>Valor em R\$*</b>
Receptor GPS Trimble AgGPS 132 (atual)	7.380,00	
Receptor GPS ORBISAT KIT ORB 2002 (proposto)		500,00

\* custo dos equipamentos para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

A Tabela 20 mostra a análise de custo comparativa, aonde a depreciação utilizada aconteceu para um prazo não acelerado de 5 anos, com custos de manutenção de 5% e juros de 11% em relação ao valor inicial de aquisição, seguindo os padrões utilizados para o cálculos dos custos entre os sistemas de aquisição de dados.

Tabela 20. Análise de custo comparativa entre os receptores.

<b>Equipamento</b>	<b>Valor de aquisição</b>	<b>Depreciação</b>	<b>Manutenção</b>	<b>Juros</b>	<b>Custo Total</b>
		(US\$)			
AgGPS 132	7.380,00	2.460,00	369,00	405,90	<b>US\$ 3.234,90</b>
KIT ORB2002	200,00	66,67	10,00	11,00	<b>US\$ 87,67</b>

\* custo dos equipamentos comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

Na análise dos dados da Tabela 20, o custo do receptor KIT ORB 2002 corresponde a apenas 2,7 % do custo total do receptor GPS AgGPS132. Nenhum dos equipamentos utilizou alguma forma de correção diferencial dos dados de posicionamento, portanto, ambos apresentam o mesmo erro teórico de posicionamento (0 a 10 metros, segundo Rocha, 2002).

### 6.2.2 Custo total dos sistemas

Foi realizada uma análise de custo comparativa entre os dois sistemas de aquisição de dados e seus respectivos receptores GPS. A Tabela 21 mostra o resultado desta avaliação, indicando uma relação de custo favorável ao equipamento proposto de, aproximadamente 25%.

A relação de custos em Reais (R\$) pode se alterar em função da trajetória de valorização do Real junto ao Dólar, tornando o custo do componente importado mais barato. Mas de qualquer forma, ainda que o valor do Real se equipare ao valor Dólar (R\$ 1,00 = US\$ 1,00) o sistema proposto será mais barato.

Tabela 21. Análise de custo comparativa entre os dois sistemas de aquisição de dados.

<b>Equipamento</b>	<b>Valor de aquisição</b>	<b>Depreciação</b>	<b>Manutenção</b>	<b>Juros</b>	<b>Custo Total</b>
		(US\$)			
Proposto	2.768,00	922,67	138,40	152,24	<b>US\$ 1.213,31</b>
Atual	11.448,00	3.816,00	572,40	629,64	<b>US\$ 5.018,04</b>

\* custo dos equipamentos comprados para o projeto (Setembro de 2005) com o dólar cotado a R\$ 2,50.

## 7 CONCLUSÃO

O objetivo proposto no presente trabalho foi atendido, visto que, o sistema desenvolvido, coletou e armazenou os dados obtidos pelos sensores utilizados, de forma semelhante ao sistema atual.

O sistema proposto apresentou alta versatilidade por utilizar a interface de comunicação USB (Universal Serial Bus) entre todos os sensores e o computador.

O programa computacional desenvolvido para o sistema proposto, “Coletor”, filtrou devidamente os dados do receptor GPS, deixando-os prontos para a utilização em qualquer programa computacional ou sistema de informação geográfica.

Os resultados mostraram o potencial deste sistema não apenas em termos de similaridade de desempenho, mas também de redução de custos de adoção desta tecnologia.

O custo total do sistema proposto e do georeferenciamento das amostras foi, aproximadamente, 25% ( $\frac{1}{4}$ ) do custo do sistema atual.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. F. *ABC dos sistemas de instrumentação e controle*. Portugal: ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2002. 35 p.

ANTONIO, J. C. *Quebrando computadores*. Disponível em: <[www.cidadeescola.com.br](http://www.cidadeescola.com.br)> Acesso em 22 janeiro 2006..

ARNOLD, K. *Embedded controller hardware design*. USA: LLH-Technology Publishing. 2001. 232 p.

BAIO, F. H. R; ANTUNIASSI, U. R. Guidance of field sprayers by light bar using algorithms compared to the conventional system by foam marker guidance in straight-line and in curve. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, 2004, Foz do Iguaçu. *Proceeding ... Londrina: Embrapa, 2004, p. 343*

BALASTREIRE, L. A. *Agricultura de precisão*. Piracicaba: L. A. Balastreire, 1998. 38 p.

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R. Avaliação do desempenho de um GPS com algoritmo otimizado sem sinal de correção para a agricultura de precisão. In: BALASTREIRE, L. A. *Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1998-2001*. Piracicaba: L. A. Balastreire, 2002. p.285-288.

- BARGER, E.; LILJEDHAL, J. B.; CARLETON, J. B. et al. *Tratores e seus motores*. Rio de Janeiro: Edgar Bluncher, 397p. 1969.
- BARROS, U. *Aquisição de dados com PCs industriais*. Revista Intech. Janeiro, 4 p. 2000.
- BATCHELOR, B.; WHIGHAM, K.; DEWITT, J., et al. Precision agriculture: introduction to precision agriculture. Iowa Cooperative Extension, 1997. 4p. Disponível na <<http://www.extension.astate.edu/pages/precisionag/prec-ag.pdf>> Acesso em: 18 Ago 1999.
- BORK, R.; ABBOTT, R.; BARKER, D.; HEEFNER, J. An overview of the LIGO control and data acquisition system. In: 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACCELERATOR & LARGE EXPERIMENTAL PHYSICS CONTROL SYSTEM, San Jose, California, 2001, p.19-23.
- BRASIL. Presidência da República. Medida Provisória nº 252, de 15 de junho de 2005 Brasília: Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2005. 26 p.
- CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. *Inovações do campo*. Piracicaba. 2000. Disponível na <[http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric\\_precisao.htm](http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao.htm)> Acesso em: 15 Jun 2003.
- CAPPELLI, N. L. *Agricultura de Precisão, Novas tecnologias para o processo produtivo*. GIP – Agricultura de Precisão, Campinas, 1997. Boletim Eletrônico... Disponível na <<http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.htm>> Acesso em: 10 set 2005.
- CASAROTTO, N.C.; KOPITTKKE, B.H, *Análise de Investimentos*, São Paulo: Atlas S.A, 9<sup>a</sup> ed. 123p. 2000.
- CASTELLI, G., MAZZETTO, F. Automatic system for monitoring and recording farm field activities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, 1996, Cancun, México. Anais... Michigan: ASAE, American Society of Agricultural Engineering, 1996. p. 548-56.

CÔRTEZ, P. L., SCHERR, R. A. *Conhecendo e trabalhando com o Visual Basic 6.0*. São Paulo, Ed. Érica, 2000. 352p.

COX, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*. v.36, n.2-3, p.93-111, 2002.

CSI WIRELESS. *Programming Manual and Reference Manual*. USA, June, 2005. 236 p.

DALLMEYER, A.U.; SCHLOSSER, J.F. Mecanización para la agricultura de precisión. In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. *Agricultura de precisión - Introducción al manejo sitio-específico*. Chillán-Chile : INIA, 1999. Cap.3, p.75-104.

DATATRANSLATION. *Benefits & potential dangers of using USB for test and measurement applications*. 2005. Disponível na <<http://www.datatranslation.com>>. Acesso em: 2 dez 2005.

DINAMICA GENERALE. *Microcomputer WinScale*. Italia, 2002. 139 p.

DUARTE, L. P.; MATTOS, Z. P. B.; NORONHA, J. F. et al. *Custos dos serviços de máquinas e implementos agrícolas*. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Economia e Sociologia Rural, 1988. 32p.

EDWARDS, W. Farm machinery selection. *Machinery Management*, Iowa State University, 2001. 952 p.

ENGBERG, D., GLANZMAN, T. A small Unix-based data acquisition system. In: *IEEE Real Time '93 Conference*, Vancouver, Canada, June 8-11, 1993.

FAPESP. *Satélite inicia transmissão*. Pesquisa Fapesp, fevereiro 2006, n. 120, p. 60. 2006.

FERREIA, L., R., M.; PAMPLONA S, E., O. *Análise de investimentos e toma de decisão em substituição de equipamentos*. Itajubá, 2001. 18p. Trabalho de diploma – Escola Federal de Engenharia de Itajubá – Instituto de Engenharia Mecânica.

FRAISSE, C., FAORO, L. Agricultura de Precisão: A Tecnologia de GIS/GPS Chega às Fazendas. *Revista Fator GIS On Line*. Curitiba, 1998. Artigos.

FRIZZONE, J.A. *Planejamento da irrigação: uma abordagem as decisões de investimento*. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1999. 110p.

GARCIA, R. F., QUEIROZ, D. M., FERNADES, H. C., MIYAGAKI, O. H. Simulação do comportamento dinâmico de um conjunto trator-colhedora de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p. 565-71, 2003.

GARCIA, R. F. Coleta precisa. *Cultivar máquinas*, ano III, n.24, p. 12-14, out., 2003.

GOERING, C. E. How much and where. *Agricultural Engineering*, v.73, n.4, p. 13-5, July, 1992.

GOERING, C. E.; HAN, S. *A field information system for SSCM*. Warrendale: SAE International, 1993. 6p. (SAE Technical Paper Series, 932422).

GILBERT, C. Erros em GPS. O que você pode e o que você não pode corrigir. *Fator Gis*, v.1, p. 62-3, Maio/Junho, 1997.

GORGULHO, M. Apostila de GPS – O Sistema de Posicionamento Global. GPS TrackMaker. 2001. Disponível na <[http://gpstm.com/port/apostila\\_port.htm](http://gpstm.com/port/apostila_port.htm)>. Acesso em: 12 ago 2005.

HIRSCHFELD, H. *Engenharia econômica e análise de custos*. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 1992. 465p.

HOFFMANN, R., ENGLER, J.J.C., SERRANO, O. Administração da empresa agrícola. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 1989. 325p.

IBGE. *Censo Populacional de 2000*. Disponível na <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default\\_censo\\_2000.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm)>. Acesso em: 20 Ago 2005.

IGARASHI, Y.; FUJII, H.; HIGUCHI, T.; IKENO, M.; INOUE, E.; ITOH, R.; KODAMA, H.; et al. The data acquisition system base don PMC bus. *Computing in High Energy and Nuclear Physics*, 24-28 de março, 2003. La Jolla, California. p.1-4. 2003.

INAMASU, R. Y. Coletor de dados: um subsídio para escolha. *Boletim de Pesquisa Embrapa (CNPIA)*, n. 1/96, p. 1-40, 1996.

ISMAIL, K. A. R.; GONÇALVES, M. M.; BENEVENUTO, F. J. *Instrumentação básica para engenharia*. Campinas: do Autor, 1998. 470 p.

KANAZAWA, E. M.; LACERDA, W. S. Desenvolvimento de uma interface de aquisição e controle de dados. 1999. Disponível na <  
<http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v1.1/edna.adt.pdf>>. Acesso em: 10 Jan 2006.

KEE. *ZYNX Operators manual – Console*. Version 2.0. Australia: KEE, 2002. 18 p.

KINCHELOE, S. Tools to aid management: The use of site specific management. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 49, n. 2, p. 43-5, 1991. Special Supplement.

LANÇAS, K. P.; BARBOZA, R. B. S.; GUERRA, S. P. S. Mobile soil sample unit – MSSU – used in precision agriculture for analysis on agricultural soil properties and parameters. In: 5<sup>th</sup> EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2005, Uppsala. 5<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture. 2005. v. cd.

LECHNER, W.; BAUMANN, S. Global navigation satellite systems. *Computers and Eletronics in Agriculture*, Amsterdan, v.25, n. 1-2, p. 67-85, 2000.

LINSLEY, C. M., BAUER, F. C. *Test your soil for acidity*. University of Illinois, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station. Circular 346. 16p. 1929.

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da.(Coord.). Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas : UFLA/SBEA, 1998. p.109-157.

MANZANO, J. A. N. G. *Estudo dirigido de Visual Basic 6*. São Paulo, Ed. Érica, 2000. 184p.

MAOHUA, W. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. *Computers and Electronics in Agriculture*. v.30, n.1-3, p.45-50, 2001.

MAZZETTO, F. L'acquisizione dei dati aziendali in tempo reale. *Gênio Rurale*, Milano, v.12, n.1, p. 20-30, 1996.

MAZZETTO, F.; LANDONIO, S. Hardware and software developments applied to a system for the automatic organisation of computerised notebook. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense. Anais... Odense: SCI Agriculture and Environment Group, 1999. v.1, p. 53-54.

MEASUREMENT COMPUTING. *PMD-1208LS USB-based analog and digital I/O module*. USA, Measurement Computing Corporation. 2005

MISENER, G. G., McLEOD, C. D. A model to facilitate farm machinery use and cost data collection. *Agriculture Systems*, Nancy, v.24, p. 149-57, 1987.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão – mais um desafio para o agricultor brasileiro. *Revista Plantio Direto*, n.39, p.26-27. Maio-junho 1997.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo Navistar-GPS: descrição, fundamentos e aplicações. Departamento de Cartografia FCT/UNESP – Campus de Presidente Prudente. Setembro, de 1998. 182p.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Ed. Unesp, 2000. 287p.

MORGAN, M.; ESS, D. *The precision farming guide for agriculturists*. Moline: Deere, 1997. 117 p.

NORONHA, J. F. *Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica*. São Paulo: Atlas, 1981. 274p.

OLIVEIRA, M. D. M. *Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota*. Piracicaba, 2000. 150p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

OMATA, K., FUJITA, Y., YOSHIKAWA, N., SEKIGUCHI, M., SHIDA, Y. A Data acquisition system based on a personal computer. *IEEE Transaction on Nuclear Science*, v. 39, n. 2, Parte 1-2, Abril, 1992. Tokyo, Japan. 1992.

ORBISAT. *Manual de operação – Kit ORB 2002 RLP*. Orbisat: Manaus, AM, 2002. 83 p.

PELLETIER, G.; UPADHYAYA, S. K. Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v.23, n. 2, p. 103-117, 1999.

PERRET, S.; PIROT, R.; BARRET D.; DEURVEILHER, D. *Etude de définition d’ un appareillage électronique d’ acquisition de nonnés embarquéé*. Montpellier : Cirad SAR, 2000. 35p.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, v.67. p. 1-85, 1999.

PIMENTEL, H. *Visual Basic 6.0 para principiantes*. São Paulo: Ed. Axcel Books, 1999. 512p.

RIBAS, R. V., SOUZA, A. F., SANTOS, N. *Um sistema de aquisição de dados de baixo custo para o laboratório didático.* Disponível na <[http://www.sbf.if.usp.br/rbef/Vol20/Num3/v20\\_293.pdf](http://www.sbf.if.usp.br/rbef/Vol20/Num3/v20_293.pdf)>. Acesso em: 15 Ago 2005.

ROCHA, J.V., LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, Anais... Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap. 1. p. 1-30.

ROCHA, J. A. M. R. *GPS: Uma abordagem prática.* 3.ed. Recife: Ed. Bagaço Ltda, 2002. 184p.

SANTOS, M. C. O alcance do RTK. *Revista MundoGeo.* v.24, jul./2002. Disponível na <<http://www.mundogeo.com.br>>. Acesso em: 10 Ago 2005.

SANTOS FILHO, P. F., FERNANDES, H. C., QUEIROZ, D. M., SOUZA, P., CAMILO, A. J. Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. *Revista Árvore*, v.28, n.3, p. 381-86, 2004.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA; C. E.; PAZ, S. M. O problema da padronização e integração de sistemas na Agricultura de Precisão. In: GIS BRASIL, 1998. Curitiba. Mostra Especial... SANTOS, M. C. O alcance do RTK. *Revista MundoGeo.* v.24, jul./2002. Disponível em: <<http://www.mundogeo.com.br>>. Acesso em: 20 ago 2005.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1995, proceedings Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1995, p.603-611.

SECTOR. A vida útil de computadores é em média de 3 anos. Disponível na <[www.sector.com.br](http://www.sector.com.br)>. Acesso em: 15 Dez de 2005.

SCHUELLER, J. K., WHITNEY, J. D., WHEATON, T. A., MILLER, W. M., TURNER, A. E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Computers and Eletronics in Agriculture*, v.23, p.145-53. 1999.

SILVEIRA, G. M. Sistema informativo de operação em campo baseado na aquisição automática de dados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.2, p. 365-68, 2001.

SILVEIRA, G. M., STORINO, M., PECHE FILHO, A., YANAI, K., BERNARDI, J. A. Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas. *Bragantia*, v.64, n.2, p. 305-10, 2005.

SPOLON, R. *Um Gerador de Aplicação para um Ambiente de Simulação Automático*. São Carlos, Setembro 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, Universidade de São Paulo.

STAFFORD, J. V.; AMBLER, B. In-field location using GPS for spatially variable field operations. *Computers and Eletronics in Agriculture*, v. 11, p. 23-36, 1994.

STAFFORD, J. V. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. *Computers and Eletronics in Agriculture*, Amsterdam, v.14, n. 2-3, p.101-119, 1996.

STORINO, M.; PIROT, R.; TISSEYRE, B.; SEVILA, F. Performance du tracteur comme indicateur de l'état du sol en agriculture de précision: première approach en riziculture camarguaise. In: AGRICULTURE DE PRECISION : AVANCÉES DE LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE ET INDUSTRIELLE, 1., 2000, Dijon. Anais... Dijon : Cemagref-ENESAD, 2000. v.1, p.103-115.

SUTHERLAND, J. W. *The Jonh W. Sutherland Page*. Disponível na <[www.mfg.mtu.edu](http://www.mfg.mtu.edu)>. Acesso em: 3 Dez 2004.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Global Adoption of Precision Agriculture Technologies: Who, When and Why? In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001, Montpellier: Agro Montpellier (ENSAM), 2001. p.557-562.

TRIMBLE. *AgGPS 132 Operation Manual*. Revision A. USA: Trimble, 1998.

TRIMBLE. *AgGPS 132 FlighBar Operation Manual*. Revision A. USA: Trimble, 1999.

WATZLAWIK, K. H.; NELLEN, R.; NOLL, T.; KARNADI, M.; MACHNER, H. A data acquisition system for medium scale experiments. *IEEE Transaction on Nuclear Science*. v.39, n.2, part 1-2, 1992.

YULE, I. J.; CAIN, P. J.; EVANS, E. J.; VENUS, C. A spatial inventory approach to farm planning. *Computers and Eletronics in Agriculture*, v. 14, p. 151-161, 1996.

YULE, I. J., KOHNEN, G., NOWAK, M. In field mapping of tractor performance. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense. Anais... Odense: SCI Agriculture and Environment Group, 1999. v.1, p. 20.

ZHANG, N; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. v.36, n. 2-3, p.113-32. 2002.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE 1. Formulário para a porta serial e porta USB.**

```
Private m_Serial As CSerial
```

```
Private m_USB As CUSB
```

```
Private Sub cmdStartGPS_Click()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    If m_Serial Is Nothing Then
```

```
        If IsNumeric(txtPortNumber.Text) Then
```

```
            Set m_Serial = New CSerial
```

```
            m_Serial.Initialize txtPortNumber.Text, txtSettings.Text, txtType.Text
```

```
            CheckSerial.Enabled = True
```

```
            shpGPS.FillColor = vbGreen
```

```
            lblGPS.Caption = "Reading"
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
    Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::StartGPS"
```

```
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdStartPen_Click()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    If m_USB Is Nothing Then
```

```
        If IsNumeric(c) And CLng(txtChannelNum.Text) >= 0 And CLng(txtChannelNum.Text) <= 3 Then
```

```
            Dim ChannelNums() As Long
```

```
            ReDim ChannelNums(0 To CLng(txtChannelNum.Text))
```

```
            Dim i As Long
```

```
            For i = 0 To CLng(txtChannelNum.Text)
```

```
        ChannelNums(i) = i
    Next i

    Set m_USB = New CUSB

    m_USB.Initialize 0, ChannelNums, BIP20VOLTS

    CheckUSB.Enabled = True

    shpCollect.FillColor = vbGreen
    lblCollect.Caption = "Collecting"

End If

End If

Exit Sub

Failed:
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::StartPen"
    Resume Next

End Sub

Private Sub cmdStopGPS_Click()
    On Error GoTo Failed

    CheckSerial.Enabled = False

    Set m_Serial = Nothing

    shpGPS.FillColor = vbRed
    lblGPS.Caption = "Stopped"

    Exit Sub

Failed:
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::StopGPS"
    Resume Next

End Sub

Private Sub cmdStopPen_Click()
    On Error GoTo Failed
    CheckUSB.Enabled = False
```

```
Set m_USB = Nothing
```

```
shpCollect.FillColor = vbRed  
lblCollect.Caption = "Stopped"
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::StopPen"  
Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CheckSerial_Timer()  
On Error GoTo Failed
```

```
    m_Serial.CheckSerialInput
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::CheckSerial"  
Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CheckUSB_Timer()  
On Error GoTo Failed
```

```
    Dim RangeMin As Double  
    Dim RangeMax As Double
```

```
    RangeMin = 0  
    RangeMax = 50
```

```
    If IsNumeric(txtRangeMin.Text) Then RangeMin = Cdbl(txtRangeMin.Text)  
    If IsNumeric(txtRangeMax.Text) Then RangeMax = Cdbl(txtRangeMax.Text)
```

```
    If (m_USB.CheckUSBInput(RangeMin, RangeMax)) <> 0 Then  
        cmdStopPen_Click  
    End If  
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "frmMain::CheckUSB"
```

Resume Next

End Sub

**APÊNDICE 2. Módulo para a leitura da porta serial.**

Option Explicit

```
Private WithEvents m_Comm As MSCommLib.MSComm
Private m_TextFile As CTextFile
```

```
Private m_TypeToFilter As String
```

```
Private Sub Class_Initialize()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
Set m_Comm = New MSCommLib.MSComm
```

```
Set m_TextFile = New CTextFile
```

```
m_Comm.InputMode = comInputModeText
```

```
m_Comm.RThreshold = 0
```

```
m_Comm.SThreshold = 0
```

```
m_Comm.Handshaking = comRTS
```

```
m_Comm.RTSEnable = True
```

```
m_TextFile.CreateTextFile "Serial"
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "CSerial::Initialize"
```

```
Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Class_Terminate()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
If m_Comm.PortOpen = True Then m_Comm.PortOpen = False
```

```
Set m_Comm = Nothing
```

```
Set m_TextFile = Nothing
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "CSerial::Terminate"
```

```
Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Public Sub Initialize(ByRef CommPort As Integer, ByRef Configuration As String, ByRef  
TypeToFilter As String)
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    m_Comm.CommPort = CommPort  
    m_Comm.Settings = Configuration  
    m_Comm.PortOpen = True
```

```
    m_TypeToFilter = TypeToFilter
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CSerial::Initialize"  
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub m_Comm_OnComm()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CSerial::OnComm"  
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Public Sub CheckSerialInput()
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    Dim InfoType As String  
    Dim Timestamp As String  
    Dim FirstCoord As String  
    Dim SecondCoord As String
```

```
    Dim InputText As Variant  
    InputText = m_Comm.Input
```

```
    If Len(InputText) <= 0 Then Exit Sub
```

```
    InfoType = Mid$(InputText, 1, 6)
```

```
    If InfoType = m_TypeToFilter Then
```

```
InputText = Mid$(InputText, 8)
Timestamp = Mid$(InputText, 1, 6)
InputText = Mid$(InputText, InStr(1, InputText, ",", vbTextCompare) + 1)
FirstCoord = Mid$(InputText, 1, InStr(1, InputText, ",", vbTextCompare) - 1)
InputText = Mid$(InputText, InStr(1, InputText, ",", vbTextCompare) + 3)
SecondCoord = Mid$(InputText, 1, InStr(1, InputText, ",", vbTextCompare) - 1)

m_TextFile.AddTextToFile Timestamp & vbTab & FirstCoord & vbTab & SecondCoord

End If

Exit Sub

Failed:
MsgBox Err.Description, vbCritical, "CSerial::CheckSerialInput"
Resume Next

End Sub
```

**APÊNDICE 3. Módulo para a leitura da porta USB.**

Option Explicit

Private m\_TextFile As CTextFile

Private m\_BoardNum As Long  
 Private m\_ChannelNums() As Long  
 Private m\_Gain As Long

Private Sub Class\_Initialize()  
 On Error GoTo Failed

    Dim Ret As Long

    Set m\_TextFile = New CTextFile

    Ret = cbDeclareRevision(CURRENTREVNUM)

    If Ret <> 0 Then Stop

    Ret = cbErrHandling(PRINTALL, DONTSTOP)

    If Ret <> 0 Then Stop

    m\_TextFile.CreateTextFile "USB"

    Exit Sub

Failed:

    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CUSB::Initialize"

    Resume Next

End Sub

Private Sub Class\_Terminate()

On Error GoTo Failed

    Set m\_TextFile = Nothing

    Exit Sub

Failed:

    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CUSB::Terminate"

    Resume Next

End Sub

```
Public Sub Initialize(ByRef BoardNum As Long, ByRef ChannelNums() As Long, ByRef
Gain As Long)
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    If (UBound(ChannelNums) - LBound(ChannelNums)) > 3 Then
```

```
        MsgBox "Channel numbers out of range", vbCritical, "CUSB::Initialize"
```

```
        Exit Sub
```

```
    End If
```

```
    m_BoardNum = BoardNum
```

```
    m_ChannelNums = ChannelNums
```

```
    m_Gain = Gain
```

```
Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
MsgBox Err.Description, vbCritical, "CUSB::Initialize"
```

```
Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Public Function CheckUSBInput(Optional ByVal MinValue As Double = 0, Optional ByVal
MaxValue As Double = 50) As Long
```

```
On Error GoTo Failed
```

```
    Dim Values As String
```

```
    Dim Valid As Boolean
```

```
    Valid = True
```

```
    Dim i As Long
```

```
    For i = LBound(m_ChannelNums) To UBound(m_ChannelNums)
```

```
        Dim Ret As Long
```

```
        Dim Value As Integer
```

```
        Dim ConvertedValue As Variant
```

```
        Ret = cbAIn(m_BoardNum, m_ChannelNums(i), m_Gain, Value)
```

```
        If Ret <> 0 Then
```

```
            CheckUSBInput = Ret
```

```
            Exit Function
```

```
        End If
```

```
        Ret = cbToEngUnits(m_BoardNum, m_Gain, Value, ConvertedValue)
```

```
        If Ret <> 0 Then
```

```
            CheckUSBInput = Ret
```

```
            Exit Function
```

```
        End If
```

```
    If ConvertedValue > MinValue And ConvertedValue < MaxValue Then
```

```
        Values = Values & vbTab & Format$(ConvertedValue, "0.000")
    Else
        Valid = False
    End If
Next i

If Valid = True Then m_TextFile.AddTextToFile FormatTime("") & Values

CheckUSBInput = 0

Exit Function

Failed:
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CUSB::CheckUSBInput"
    Resume Next

End Function
```

#### **APÊNDICE 4. Classe para arquivamento dos dados capturados pelas portas serial e USB.**

Option Explicit

```
Private m_fso As Scripting.FileSystemObject
Private m_txtFile As Scripting.TextStream
Private m_FileName As String
```

```
Private Sub Class_Initialize()
On Error GoTo Failed
```

```
    Set m_fso = New FileSystemObject
```

```
    Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CTextFile::Initialize"
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Class_Terminate()
On Error GoTo Failed
```

```
    If m_fso.FileExists(m_FileName) = True Then m_txtFile.Close
```

```
    Set m_fso = Nothing
    Set m_txtFile = Nothing
```

```
    Exit Sub
```

```
Failed:
```

```
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CTextFile::Terminate"
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Public Sub CreateTextFile(ByVal FileName As String)
On Error GoTo Failed
```

```
    m_FileName = FileName & "_" & FormatDateTime("_") & ".txt"
```

```
    Set m_txtFile = m_fso.CreateTextFile(m_FileName)
```

```
    Exit Sub
```

```
Failed:  
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CTextFile::CreateTextFile"  
    Resume Next
```

```
End Sub
```

```
Public Sub AddTextToFile(ByVal Text As String)  
    On Error GoTo Failed
```

```
    If Not (m_txtFile Is Nothing) Then m_txtFile.WriteLine Text
```

```
    Exit Sub
```

```
Failed:  
    MsgBox Err.Description, vbCritical, "CTextFile::AddTextToFile"  
    Resume Next
```

```
End Sub
```

**APÊNDICE 5.** Arquivo salvo pelo “Coletor” para os dados da célula de carga e do potenciômetro. As informações armazenadas são: hora (primeira coluna), célula de carga, valor em Volts (segunda coluna), potenciômetro, valor em Volts (terceira coluna).

0230PM	0,014	0,021
0230PM	0,168	0,048
0230PM	0,721	0,075
0230PM	1,994	0,102
0230PM	3,370	0,129
0230PM	4,271	0,154
0230PM	5,171	0,181
0230PM	6,753	0,208
0230PM	8,360	0,234
0230PM	9,839	0,262
0230PM	9,959	0,290
0230PM	9,480	0,318
0230PM	9,880	0,345
0230PM	9,934	0,372
0230PM	9,994	0,400
0230PM	9,106	0,426
0230PM	9,016	0,453
0230PM	9,132	0,479
0230PM	8,798	0,506
0230PM	8,656	0,534
0230PM	8,695	0,562
0230PM	9,055	0,589
0230PM	9,569	0,617
0230PM	9,968	0,644
0230PM	9,980	0,672
0230PM	9,576	0,699
0230PM	9,730	0,726
0230PM	10,012	0,753
0230PM	10,040	0,779
0230PM	9,873	0,806
0230PM	9,891	0,834
0230PM	9,608	0,861
0230PM	8,489	0,889
0230PM	7,216	0,917
0230PM	6,958	0,945
0230PM	6,958	0,972
0230PM	6,984	1,000
0230PM	6,714	1,027
0230PM	6,341	1,053
0230PM	5,955	1,080
0230PM	6,007	1,107
0230PM	5,981	1,135

0230PM	5,904	1,163
0230PM	6,033	1,191
0230PM	6,007	1,219
0230PM	5,942	1,247
0230PM	5,634	1,274
0230PM	5,068	1,292
0232PM	0,014	0,021
0232PM	0,052	0,048
0232PM	0,207	0,076
0232PM	0,837	0,103
0232PM	1,904	0,130
0232PM	3,229	0,157
0232PM	4,090	0,185
0232PM	5,029	0,211
0232PM	6,225	0,239
0232PM	7,241	0,265
0232PM	7,923	0,290
0232PM	8,309	0,317
0232PM	7,910	0,344
0232PM	7,370	0,372
0232PM	6,766	0,400
0232PM	6,187	0,428
0232PM	5,930	0,456
0232PM	5,685	0,483
0232PM	5,415	0,510
0232PM	5,261	0,537
0232PM	5,068	0,565
0232PM	4,952	0,591
0232PM	4,785	0,618
0232PM	4,643	0,645
0232PM	4,515	0,673
0232PM	4,451	0,701
0232PM	4,451	0,729
0232PM	4,451	0,757
0232PM	4,451	0,784
0232PM	4,373	0,812
0232PM	4,309	0,839
0232PM	4,206	0,866
0232PM	4,155	0,893
0232PM	4,168	0,920
0232PM	4,270	0,947
0232PM	4,631	0,975
0232PM	5,081	1,003
0232PM	5,364	1,031
0232PM	5,222	1,059
0232PM	4,451	1,087
0232PM	3,846	1,114
0232PM	3,666	1,142

0232PM	3,499	1,168
0232PM	3,640	1,195
0232PM	3,859	1,222
0232PM	4,026	1,249
0232PM	4,232	1,277
0232PM	4,181	1,305
0232PM	4,116	1,334
0232PM	4,013	1,362
0232PM	4,000	1,390
0232PM	3,949	1,417
0232PM	3,718	1,425
0234PM	0,014	0,021
0234PM	0,065	0,048
0234PM	0,284	0,074
0234PM	0,567	0,101
0234PM	0,991	0,127
0234PM	1,480	0,154
0234PM	2,226	0,181
0234PM	3,074	0,208
0234PM	3,885	0,236
0234PM	4,245	0,263
0234PM	4,901	0,290
0234PM	5,325	0,318
0234PM	5,749	0,345
0234PM	5,801	0,372
0234PM	5,775	0,398
0234PM	5,595	0,424
0234PM	5,441	0,451
0234PM	5,287	0,478
0234PM	4,978	0,506
0234PM	4,811	0,534
0234PM	4,592	0,563
0234PM	4,451	0,590
0234PM	4,373	0,618
0234PM	4,373	0,645
0234PM	4,373	0,672
0234PM	4,373	0,700
0234PM	4,360	0,726
0234PM	4,283	0,753
0234PM	4,206	0,781
0234PM	4,039	0,808
0234PM	3,923	0,837
0234PM	3,795	0,865
0234PM	3,486	0,892
0234PM	3,332	0,920
0234PM	3,229	0,948
0234PM	3,164	0,975
0234PM	3,139	1,002
0234PM	3,139	1,030

0234PM	3,190	1,057
0234PM	3,486	1,084
0234PM	3,653	1,112
0234PM	3,525	1,140
0234PM	3,357	1,168
0234PM	3,383	1,196
0234PM	3,409	1,223
0234PM	3,473	1,251
0234PM	3,628	1,279
0234PM	3,718	1,306
0234PM	3,730	1,334
0234PM	3,808	1,360
0234PM	3,859	1,387
0234PM	3,820	1,416
0234PM	3,820	1,444
0234PM	3,718	1,472
0234PM	3,589	1,501
0234PM	3,460	1,528
0234PM	3,139	1,554
0234PM	2,972	1,555
0235PM	0,014	0,021
0235PM	0,155	0,048
0235PM	0,682	0,076
0235PM	1,505	0,103
0235PM	2,354	0,130
0235PM	2,933	0,157
0235PM	3,036	0,185
0235PM	2,727	0,212
0235PM	3,100	0,238
0235PM	3,820	0,265
0235PM	4,309	0,292
0235PM	5,158	0,320
0235PM	5,968	0,347
0235PM	6,843	0,376
0235PM	7,473	0,403
0235PM	7,923	0,430
0235PM	8,219	0,458
0235PM	8,296	0,486
0235PM	8,334	0,513
0235PM	8,244	0,540
0235PM	8,090	0,566
0235PM	7,859	0,594
0235PM	7,640	0,622
0235PM	7,447	0,650
0235PM	7,331	0,678
0235PM	7,087	0,706
0235PM	6,868	0,734
0235PM	6,611	0,761

0235PM	6,405	0,789
0235PM	6,161	0,817
0235PM	5,929	0,843
0235PM	5,685	0,871
0235PM	5,479	0,898
0235PM	5,441	0,926
0235PM	5,338	0,954
0235PM	5,222	0,982
0235PM	5,145	1,010
0235PM	5,351	1,038
0235PM	5,569	1,066
0235PM	5,492	1,094
0235PM	5,016	1,121
0235PM	4,168	1,148
0235PM	4,000	1,175
0235PM	3,872	1,203
0235PM	3,653	1,230
0235PM	3,782	1,259
0235PM	3,782	1,287
0235PM	3,705	1,316
0235PM	3,666	1,344
0235PM	3,576	1,372
0235PM	3,396	1,376
0240PM	0,014	0,021
0240PM	0,039	0,048
0240PM	0,052	0,076
0240PM	0,194	0,104
0240PM	0,695	0,131
0240PM	1,724	0,158
0240PM	2,946	0,185
0240PM	4,116	0,212
0240PM	4,785	0,239
0240PM	5,660	0,265
0240PM	6,547	0,292
0240PM	6,778	0,319
0240PM	6,483	0,347
0240PM	6,264	0,376
0240PM	5,788	0,404
0240PM	5,467	0,432
0240PM	5,081	0,459
0240PM	4,888	0,488
0240PM	4,695	0,514
0240PM	4,592	0,542
0240PM	4,450	0,569
0240PM	4,489	0,596
0240PM	4,631	0,624
0240PM	4,862	0,652
0240PM	5,029	0,680

0240PM	4,978	0,709
0240PM	4,849	0,737
0240PM	4,695	0,765
0240PM	4,592	0,793
0240PM	4,438	0,820
0240PM	4,309	0,847
0240PM	4,283	0,874
0240PM	4,309	0,902
0240PM	4,283	0,930
0240PM	4,270	0,958
0240PM	4,245	0,987
0240PM	4,232	1,015
0240PM	4,258	1,043
0240PM	4,309	1,071
0240PM	4,360	1,099
0240PM	4,412	1,126
0240PM	4,605	1,153
0240PM	4,862	1,180
0240PM	4,823	1,208
0240PM	4,939	1,236
0240PM	4,669	1,264
0240PM	4,258	1,295
0240PM	4,206	1,322
0240PM	4,322	1,350
0240PM	4,386	1,377
0240PM	4,142	1,389
0243PM	0,014	0,021
0243PM	0,065	0,048
0243PM	0,116	0,075
0243PM	0,322	0,103
0243PM	0,644	0,130
0243PM	1,223	0,158
0243PM	2,007	0,185
0243PM	2,869	0,212
0243PM	3,743	0,239
0243PM	4,078	0,265
0243PM	4,541	0,293
0243PM	4,913	0,321
0243PM	5,119	0,349
0243PM	5,235	0,378
0243PM	5,286	0,406
0243PM	5,184	0,433
0243PM	5,081	0,461
0243PM	4,952	0,489
0243PM	4,862	0,516
0243PM	4,772	0,543
0243PM	4,643	0,570
0243PM	4,541	0,598

0243PM	4,450	0,626
0243PM	4,399	0,655
0243PM	4,360	0,683
0243PM	4,309	0,711
0243PM	4,360	0,739
0243PM	4,579	0,766
0243PM	4,849	0,795
0243PM	5,106	0,821
0243PM	5,196	0,849
0243PM	5,235	0,876
0243PM	5,235	0,904
0243PM	5,351	0,932
0243PM	5,544	0,961
0243PM	5,711	0,989
0243PM	5,788	1,017
0243PM	5,608	1,045
0243PM	5,634	1,073
0243PM	5,814	1,101
0243PM	5,685	1,128
0243PM	5,196	1,155
0243PM	4,605	1,183
0243PM	4,206	1,211
0243PM	3,910	1,239
0243PM	3,846	1,268
0243PM	3,782	1,296
0243PM	3,808	1,325
0243PM	3,962	1,353
0243PM	3,730	1,375
0246PM	0,014	0,021
0246PM	0,361	0,048
0246PM	0,785	0,076
0246PM	1,390	0,103
0246PM	2,123	0,130
0246PM	2,959	0,158
0246PM	3,769	0,186
0246PM	4,065	0,212
0246PM	4,862	0,239
0246PM	5,286	0,266
0246PM	5,531	0,294
0246PM	5,595	0,322
0246PM	5,479	0,350
0246PM	5,312	0,379
0246PM	5,016	0,407
0246PM	4,772	0,434
0246PM	4,566	0,462
0246PM	4,438	0,490
0246PM	4,309	0,517
0246PM	4,245	0,544

0246PM	4,129	0,571
0246PM	4,129	0,599
0246PM	4,078	0,628
0246PM	4,039	0,657
0246PM	4,052	0,685
0246PM	4,090	0,713
0246PM	4,090	0,741
0246PM	4,065	0,769
0246PM	3,885	0,797
0246PM	4,026	0,824
0246PM	4,425	0,851
0246PM	4,811	0,879
0246PM	4,952	0,907
0246PM	5,286	0,935
0246PM	5,441	0,963
0246PM	5,608	0,992
0246PM	5,647	1,020
0246PM	5,492	1,048
0246PM	5,209	1,076
0246PM	4,811	1,104
0246PM	4,682	1,131
0246PM	4,913	1,158
0246PM	4,952	1,186
0246PM	4,798	1,214
0246PM	4,489	1,243
0246PM	4,373	1,272
0246PM	4,270	1,301
0246PM	4,103	1,329
0246PM	3,936	1,357
0246PM	3,615	1,370
0248PM	0,014	0,021
0248PM	0,168	0,048
0248PM	0,567	0,076
0248PM	0,927	0,104
0248PM	1,261	0,131
0248PM	1,685	0,158
0248PM	1,981	0,186
0248PM	2,174	0,214
0248PM	2,470	0,241
0248PM	2,830	0,267
0248PM	3,229	0,295
0248PM	3,550	0,323
0248PM	3,795	0,351
0248PM	3,962	0,380
0248PM	4,000	0,408
0248PM	4,078	0,436
0248PM	4,090	0,463
0248PM	4,129	0,492

0248PM	4,039	0,519
0248PM	3,949	0,546
0248PM	3,872	0,573
0248PM	3,795	0,601
0248PM	3,743	0,630
0248PM	3,666	0,658
0248PM	3,473	0,686
0248PM	3,512	0,715
0248PM	3,653	0,743
0248PM	3,936	0,770
0248PM	4,052	0,799
0248PM	4,450	0,826
0248PM	4,695	0,854
0248PM	4,811	0,881
0248PM	4,785	0,909
0248PM	4,605	0,937
0248PM	4,450	0,965
0248PM	4,245	0,994
0248PM	4,039	1,023
0248PM	3,962	1,051
0248PM	3,820	1,078
0248PM	3,846	1,107
0248PM	4,078	1,134
0248PM	4,245	1,162
0248PM	4,450	1,189
0248PM	4,553	1,217
0248PM	4,502	1,245
0248PM	4,566	1,274
0248PM	4,541	1,303
0248PM	4,553	1,332
0248PM	4,450	1,360
0248PM	4,232	1,387
0248PM	3,872	1,392
0251PM	0,014	0,021
0251PM	0,065	0,048
0251PM	0,412	0,076
0251PM	1,017	0,104
0251PM	1,865	0,131
0251PM	2,920	0,157
0251PM	3,872	0,184
0251PM	4,258	0,211
0251PM	4,746	0,239
0251PM	4,849	0,268
0251PM	4,952	0,296
0251PM	4,849	0,325
0251PM	4,669	0,352
0251PM	4,373	0,380
0251PM	3,949	0,408

0251PM	3,820	0,436
0251PM	4,013	0,462
0251PM	4,219	0,490
0251PM	4,412	0,518
0251PM	4,528	0,546
0251PM	4,579	0,575
0251PM	4,450	0,603
0251PM	4,258	0,631
0251PM	4,129	0,659
0251PM	4,039	0,687
0251PM	3,923	0,715
0251PM	3,820	0,743
0251PM	3,743	0,770
0251PM	3,692	0,799
0251PM	3,756	0,826
0251PM	3,923	0,854
0251PM	4,090	0,882
0251PM	4,450	0,911
0251PM	4,772	0,939
0251PM	4,991	0,967
0251PM	5,093	0,995
0251PM	5,003	1,023
0251PM	4,798	1,051
0251PM	4,772	1,078
0251PM	4,849	1,105
0251PM	4,991	1,134
0251PM	5,145	1,162
0251PM	5,196	1,191
0251PM	5,106	1,220
0251PM	4,978	1,249
0251PM	4,772	1,277
0251PM	4,245	1,297
0251PM	3,627	1,298
0255PM	0,014	0,021
0255PM	0,039	0,048
0255PM	0,271	0,075
0255PM	0,811	0,103
0255PM	1,390	0,131
0255PM	1,956	0,158
0255PM	2,830	0,185
0255PM	3,653	0,212
0255PM	4,026	0,240
0255PM	4,939	0,268
0255PM	5,801	0,296
0255PM	6,868	0,325
0255PM	7,948	0,353
0255PM	8,939	0,381
0255PM	9,775	0,408

0255PM	9,960	0,436
0255PM	10,030	0,464
0255PM	9,599	0,491
0255PM	9,834	0,519
0255PM	9,868	0,547
0255PM	9,910	0,575
0255PM	9,929	0,604
0255PM	9,492	0,632
0255PM	8,964	0,661
0255PM	8,450	0,689
0255PM	7,948	0,717
0255PM	7,344	0,745
0255PM	6,765	0,773
0255PM	6,225	0,801
0255PM	5,891	0,828
0255PM	5,479	0,857
0255PM	5,286	0,885
0255PM	5,081	0,914
0255PM	5,209	0,942
0255PM	5,402	0,971
0255PM	5,685	0,999
0255PM	5,981	1,028
0255PM	6,328	1,055
0255PM	6,714	1,083
0255PM	7,100	1,110
0255PM	7,408	1,138
0255PM	7,666	1,167
0255PM	7,576	1,195
0255PM	7,228	1,224
0255PM	6,894	1,253
0255PM	6,521	1,282
0255PM	5,891	1,310
0255PM	5,145	1,332

**APÊNDICE 6.** Arquivo salvo pelo “Coletor” para os dados do receptor GPS. As informações armazenadas são: hora (primeira coluna), longitude – em graus, minutos e décimos do minuto (segunda coluna), latitude – em graus, minutos e décimos do minuto (terceira coluna).

143005	2251.1444	04825.9731
143010	2251.1444	04825.9731
143015	2251.1444	04825.9731
143020	2251.1444	04825.9731
143025	2251.1444	04825.9731
143030	2251.1444	04825.9731
143035	2251.1444	04825.9731
143040	2251.1444	04825.9731
143045	2251.1444	04825.9731
143050	2251.1444	04825.9731
143206	2251.1249	04825.9783
143211	2251.1249	04825.9783
143216	2251.1249	04825.9783
143221	2251.1249	04825.9783
143226	2251.1249	04825.9783
143231	2251.1249	04825.9783
143236	2251.1249	04825.9783
143241	2251.1249	04825.9783
143246	2251.1249	04825.9783
143251	2251.1249	04825.9783
143256	2251.1249	04825.9783
143402	2251.1003	04825.9844
143407	2251.1003	04825.9844
143412	2251.1003	04825.9844
143417	2251.1003	04825.9844
143422	2251.1003	04825.9844
143427	2251.1003	04825.9844
143432	2251.1003	04825.9844
143437	2251.1003	04825.9844
143442	2251.1003	04825.9844
143447	2251.1003	04825.9844
143452	2251.1003	04825.9844
143457	2251.1003	04825.9844
143550	2251.0753	04825.9903
143555	2251.0753	04825.9903
143600	2251.0753	04825.9903
143605	2251.0753	04825.9903
143610	2251.0753	04825.9903
143615	2251.0753	04825.9903
143620	2251.0753	04825.9903
143625	2251.0753	04825.9903
143630	2251.0753	04825.9903
143635	2251.0753	04825.9903

143640	2251.0753	04825.9903
144040	2251.0502	04825.9970
144045	2251.0502	04825.9970
144050	2251.0502	04825.9970
144055	2251.0502	04825.9970
144060	2251.0502	04825.9970
144105	2251.0502	04825.9970
144110	2251.0502	04825.9970
144115	2251.0502	04825.9970
144120	2251.0502	04825.9970
144125	2251.0502	04825.9970
144130	2251.0502	04825.9970
144326	2251.0300	4826.0026
144331	2251.0300	4826.0026
144336	2251.0300	4826.0026
144341	2251.0300	4826.0026
144346	2251.0300	4826.0026
144351	2251.0300	4826.0026
144356	2251.0300	4826.0026
144401	2251.0300	4826.0026
144406	2251.0300	4826.0026
144411	2251.0300	4826.0026
144624	2251.0111	4826.0075
144629	2251.0111	4826.0075
144634	2251.0111	4826.0075
144639	2251.0111	4826.0075
144644	2251.0111	4826.0075
144649	2251.0111	4826.0075
144654	2251.0111	4826.0075
144659	2251.0111	4826.0075
144704	2251.0111	4826.0075
144709	2251.0111	4826.0075
144857	2251.0040	4826.0097
144902	2251.0040	4826.0097
145007	2251.0040	4826.0097
145012	2251.0040	4826.0097
145017	2251.0040	4826.0097
145022	2251.0040	4826.0097
145027	2251.0040	4826.0097
145032	2251.0040	4826.0097
145037	2251.0040	4826.0097
145042	2251.0040	4826.0097
145047	2251.0040	4826.0097
145151	2250.9935	4826.0126
145156	2250.9935	4826.0126
145201	2250.9935	4826.0126
145206	2250.9935	4826.0126
145211	2250.9935	4826.0126
145216	2250.9935	4826.0126

145221	2250.9935	4826.0126
145226	2250.9935	4826.0126
145231	2250.9935	4826.0126
145236	2250.9935	4826.0126
145509	2250.9863	4826.0143
145514	2250.9863	4826.0143
145519	2250.9863	4826.0143
145524	2250.9863	4826.0143
145529	2250.9863	4826.0143
145534	2250.9863	4826.0143
145539	2250.9863	4826.0143
145544	2250.9863	4826.0143
145549	2250.9863	4826.0143
145554	2250.9863	4826.0143