

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

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO PREPARO DE SOLO PARA A  
CULTURA DO ALGODÃO IRRIGADO**

**GUSTAVO KIMURA MONTANHA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU-SP**

**Junho - 2010**

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

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO PREPARO DE SOLO PARA A  
CULTURA DO ALGODÃO IRRIGADO**

**GUSTAVO KIMURA MONTANHA**

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra  
Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Andrade-Sanchez

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU-SP**

Junho – 2010

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

Montanha, Gustavo Kimura, 1984-  
M764a Avaliação do consumo energético no preparo de solo para a cultura do algodão irrigado / Gustavo Kimura Montanha. - Botucatu : [s.n.], 2010  
vii, 77 f.: il., color., grafs., tabs.

Dissertação(Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2010  
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra  
Co-orientador: Pedro Andrade-Sanchez  
Inclui bibliografia.

1. Consumo de combustível. 2. Mecanização agrícola. 3. Agricultura de precisão. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Andrade-Sanchez, Pedro. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. IV. Título.

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


**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**


TÍTULO: "AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO PREPARO DE SOLO PARA  
A CULTURA DO ALGODÃO IRRIGADO"

ALUNO: GUSTAVO KIMURA MONTANHA

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROBERTO ANTONIO COLENCI

Data da Realização: 21 de junho de 2010.

***DEDICO***

Aos meus pais José e Theresa e meus irmãos Julio, Renato e Bruno.

## AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento especial ao Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra e ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças pelas orientações concisas, apoio, paciência e amizade oferecidas desde o início do curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni, coordenador do programa de pós-graduação em Energia na Agricultura, por acreditar que esse trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço também ao Prof. Dr. Pedro Andrade-Sanchez e aos pesquisadores John Heun e Nick Ivy da Universidade do Arizona por me acolherem e fornecerem apoio e amizade durante o período de trabalho desenvolvido nos Estados Unidos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial e Departamento de Engenharia Rural que contribuíram de diversas maneiras durante todo o curso de mestrado.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, pela paciência, consideração e informações importantes recebidas.

Aos meus amigos de pós-graduação: Fernando Henrique Campos, Éder Aparecido Garcia, Rone Batista, Fabrício Masiero, Guilherme Oguri, Maria Cláudia Martinelli Trabulsi, Leonardo de Almeida Monteiro, Indiamara Marasca e Gabriel Lyra.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa concedida durante o curso de mestrado.

## SUMARIO

	<b>Página</b>
1 RESUMO .....	01
2 SUMMARY .....	03
3 INTRODUÇÃO .....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	07
4.1 Produção de algodão .....	07
4.2 Preparo do solo .....	09
4.3 Consumo de combustível .....	10
4.4 Tratores e pneus agrícolas.....	12
4.5 Agricultura de precisão.....	15
4.6 Sistema global de navegação por satélite (GNSS).....	18
4.6.1 Posicionamento cinemático em tempo real (RTK) .....	21
4.7 Sistemas de direcionamento via satélite .....	23
4.8 Sensores e transdutores .....	26
4.9 Sistemas de aquisição de dados .....	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
5.1 Materiais .....	31
5.1.1 Descrição da área de estudo .....	31
5.1.2 Trator e pneus agrícolas .....	33
5.1.3 Sistema de direcionamento piloto automático .....	34
5.1.4 Receptor GNSS .....	37
5.1.5 Consumo de combustível.....	38
5.1.6 Aquisição de dados .....	40
5.1.7 Célula de carga .....	41
5.1.8 Programa computacional .....	42
5.2 Métodos .....	43
5.2.1 Calibração do sistema de consumo de combustível.....	43
5.2.2 Descrição dos tratamentos.....	45
5.2.3 Aquisição dos dados.....	46

5.2.4 Velocidade de deslocamento.....	47
5.2.5 Consumo horário de combustível.....	47
5.2.6 Pressão de inflação nos pneus.....	48
5.2.7 Ensaio 1 - Arado duplo.....	48
5.2.8 Ensaio 2 - Canteirador.....	51
6 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	54
6.1 Calibração do sistema de consumo de combustível.....	54
6.2 Ensaio 1 - Arado duplo.....	56
6.3 Ensaio 2 - Canteirador.....	58
7 CONCLUSÃO.....	61
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
9 APÊNDICE.....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 Mapa da <i>Maricopa Agricultura Center</i> e localização das áreas de estudo..	32
02 Vista parcial da Área 1 (A) e Área 2 (B).....	32
03 Trator Case MXM 120.....	33
04 Sistema de piloto automático Trimble.....	34
05 Sensor de direção.....	35
06 Controlador de navegação.....	35
07 Válvula de controle hidráulico.....	36
08 Monitor digital.....	37
09 Receptor e antena GNSS.....	37
10 Painel digital (A), fluxômetros (B) e reguladores de fluxo (C).....	39
11 Esquema de instalação dos fluxômetros e reguladores de fluxo.....	39
12 Sistema de aquisição de dados.....	41
13 Célula de carga.....	42
14 Programa computacional.....	42
15 Calibração do sistema de consumo de combustível.....	43
16 Cartão de memória do sistema de aquisição de dados.....	44
17 Sistema de aquisição de dados (B) e painel digital (A).....	46
18 Trator com equipamento arado duplo.....	49
19 Mobilização inicial do solo realizado pelo equipamento arado duplo.....	49
20 Repetições e tratamentos com o arado duplo para Área 1 e Área 2.....	50
21 Equipamento canteirador.....	51
22 Formação de canteiros com o equipamento canteirador.....	52
23 Repetições e tratamentos com o canteirador para Área 1 e Área 2.....	53
24 Gráfico comparativo dos sistemas de consumo de combustível.....	55
25 Consumo de combustível em função do tipo de textura do solo.....	57
26 Consumo de combustível em função da pressão de inflação nos pneus.....	57
27 Médias de consumo de combustível para os tratamentos no Ensaio 2.....	60

**LISTA DE TABELAS**

Tabela	Página
01 Especificações do trator.....	33
02 Especificações do monitor digital.....	36
03 Especificações do receptor GNSS.....	38
04 Especificações do sistema de aquisição de dados.....	40
05 Especificações da célula de carga.....	41
06 Descrição dos tratamentos adotados nos ensaios.....	46
07 Características do arado duplo.....	48
08 Características do canteirador.....	51
09 Consumo de combustível com a TDP desligada.....	54
10 Consumo de combustível com a TDP ligada.....	55
11 Síntese dos valores de análise de variância para o consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) para o equipamento arado duplo.....	56
12 Síntese dos valores de análise de variância para o consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) para o equipamento canteirador.....	59
13 Valores médios do consumo horário de combustível ( $L.h^{-1}$ ) do trator para duas texturas de solo e duas pressões de inflação nos pneus.....	59

## 1 RESUMO

A mecanização permitiu grandes avanços na agricultura, dentre eles, melhor eficiência nas operações agrícolas e aumento da produtividade. Contudo, a utilização de máquinas agrícolas aumentou o consumo energético e os custos de produção das propriedades rurais, sendo a cultura do algodão em regiões semi-áridas um caso que caracteriza-se por apresentar altos custos de produção com alta dependência dos processos mecanizados.

Nesse contexto, o trator agrícola surge como a principal fonte de energia e de trabalho nas propriedades rurais onde sua correta utilização e a calibração adequada dos pneus agrícolas podem influenciar diretamente na eficiência de trabalho e no consumo de combustível.

O objetivo desse trabalho foi comparar o consumo de combustível de um trator agrícola em duas operações de preparo de solo, variando duas pressões de inflação nos pneus em dois tipos de texturas de solos em uma região de clima semi-árido para a cultura do algodão irrigado.

Os ensaios foram realizados na Fazenda Experimental *Maricopa Agricultural Center* - MAC, pertencente à *The University of Arizona*, localizada na cidade de Maricopa estado do Arizona, Estados Unidos com um trator Case 4x2 TDA com potência de 88kW (120 cv), equipado com sistema de piloto automático, com pneus dianteiros tipo 320/85R38 e 329/90R54 os traseiros.

Foram instalados no trator agrícola um sistema de medição de combustível composto por fluxômetros, reguladores de fluxo e monitor digital e um sistema de aquisição de dados que coletou os dados gerados pelo receptor GNSS e pelos sensores durante a realização dos ensaios

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com um arranjo fatorial 2x2, sendo analisados a pressão de inflação dos pneus: 242 kPa (35 psi) e 124 kPa (18 psi) e o tipo de textura de solo: franco argilo arenoso (Área 1) e franco arenoso (Área 2).

Os resultados evidenciaram que o trator agrícola, tracionando o arado duplo, apresentou menor consumo horário de combustível para o solo mais arenoso. Tracionando o canteirador, o trator agrícola apresentou menor consumo horário de combustível para a pressão de inflação nos pneus de 124 kPa no solo de textura franco argilo arenosa. A menor pressão de inflação dos pneus utilizada de 124 kPa proporcionou menores valores no consumo horário de combustível tanto para o arado duplo como para o canteirador.

EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION DURING THE TILLAGE FOR THE IRRIGATED COTTON. Botucatu, 2010 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GUSTAVO KIMURA MONTANHA  
Advisor: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA  
Co-advisor: PEDRO ANDRADE-SANCHEZ

## 2 SUMMARY

Mechanization has allowed great advances in agriculture, among them, better efficiency in agricultural operations and increasing productivity. However, the use of agricultural machinery led to higher energy consumption and production costs on the farms, where the cotton crop in semi-arid regions is characterized by presenting of high production costs with high dependence on mechanized processes.

In this context, the tractor comes as the major source of energy and work in the farms where their correct use and the correct calibration of the tires can directly changes the impact on work efficiency and fuel consumption.

The objective of this study was to compare the fuel consumption of an agricultural tractor in two operations of tillage, varying two inflation pressures in the tires on two types of soil texture in a region with semiarid climate for growing irrigated cotton.

The tests were conducted at the Experimental Farm Maricopa Agricultural Center - MAC, owned by The University of Arizona, located in the city of Maricopa Arizona, USA, with a tractor Case 4x2 TDA, 88kW (120 hp) equipped with autopilot system, using the tires 320/85R38 type for the front and 329/90R54 for the rear.

The tractor has been installed with a measurement fuel system, consisting of flowmeters, dampers and digital display and a data acquisition system that collected the data generated by the GNSS receiver and the sensors during the test.

The experimental design was a randomized blocks with a 2x2 factorial arrangement, analyzed the tire inflation pressure: 242 kPa (35 psi) and 124 kPa (18 psi) and the type of soil texture: sandy clay loam (Area 1) and sandy loam (Area 2).

The results showed that the tractor, pulling the lister showed lower hourly consumption of fuel for the sandy soil. Pulling the bedshaper, the tractor had lower hourly fuel consumption for tire inflation pressure of 124 kPa in the sandy clay loam soil. The lower inflation pressure tires used of 124 kPa provided smaller values of hourly fuel consumption for equipments, bedshaper and lister.

---

Keywords: Fuel consumption, mechanization, precision farming.

### 3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura atual está diretamente ligado à intensificação de atividades mecanizadas no campo, sendo o trator agrícola um dos fatores de maior importância responsável por transformar energia química contida nos combustíveis, em energia mecânica através da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas agrícolas e torque na TDP para acionar equipamentos.

Nota-se que com o aumento das operações mecanizadas no campo houve uma redução significativa no trabalho manual, que em contrapartida, aumentou o consumo de insumos energéticos nas operações de campo.

O possível aumento nos próximos anos na demanda desses insumos energéticos, principalmente das energias não-renováveis, torna importante o desenvolvimento de pesquisas voltadas às questões de eficiência energética e preservação do meio ambiente.

O consumo de combustível do trator agrícola engloba um dos custos mais elevados nas operações agrícolas sendo que o total consumido está diretamente ligado a fatores como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, número total de operações utilizadas no processo de preparação do solo dentre outros.

Dentre os fatores que podem influenciar o rendimento energético de um trator, o pneu agrícola surge como um dos mais importantes, pois além de garantir o equilíbrio, o deslocamento, o direcionamento e o amortecimento do trator, também está diretamente ligado nos seus resultados de desempenho operacional. A utilização correta do tipo de construção dos pneus, da pressão de inflação utilizada e da carga aplicada pode influenciar diretamente na eficiência produtiva e no consumo combustível do trator.

A cultura do algodão está entre as dez principais do mundo sendo cultivada economicamente em mais de 60 países, e em regiões semi-áridas, caracteriza-se por apresentar altos custos de produção, alta dependência de processos mecanizados, baixos índices pluviométricos e rigorosos critérios de avaliação de qualidade.

Diante desse cenário, faz-se importante o estudo de métodos que visem um melhor rendimento energético nas operações de campo com o uso de tecnologias como sensores, sistemas de aquisição de dados e sistemas de direcionamento por satélite que possibilitem a coleta e a análise de um elevado volume de dados, gerando assim, importantes informações para a tomada de decisões.

A partir dessas observações o presente trabalho teve como objetivo, comparar o consumo de combustível nas operações de preparo de solo utilizando os equipamentos arado duplo (mobilização inicial no preparo de solo) e o canteirador (formação de canteiros) para a cultura do algodão irrigado em uma região de clima semi-árido, variando-se duas pressões de inflação nos pneus do trator para dois tipos diferentes textura de solo.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Produção de algodão

Anualmente, em todo o mundo, são plantados mais de 33 milhões de hectares de algodão, a maioria em regime de irrigação e com produção de cerca de 25 milhões de toneladas de pluma, para um consumo ligeiramente maior. Estima-se que, daqui 20 anos, a humanidade esteja consumindo mais de 35 milhões de toneladas de pluma de algodão por ano e que, em futuro próximo, o Brasil seja o maior produtor dessa malvácea (BELTRÃO, 2008).

Segundo Beltrão (2008), o agronegócio do algodão é uma das principais atividades tanto na geração de renda como na ocupação de mão-de-obra e na geração de empregos em todo o mundo, especialmente nos setores primário e industrial. No Brasil, a cadeia do algodão movimenta um valor global de mais de 120 bilhões de reais. A China, maior produtora e consumidora mundial dessa *commodity*, têm mais de 50 milhões de produtores de algodão, com rendimento médio de mais de 1000 kg de fibra por hectare e, a Índia, mais de 10 milhões de hectares plantados dessa cultura.

A principal produção do algodoeiro é seu fruto sendo sua massa composta pela semente (52%), fibra (40%) e demais estruturas botânicas (8%). As sementes contêm aproximadamente 15% de óleo, 3% de fibras, 40% de proteínas e 42% de tegumentos. As fibras do algodão, estruturas compostas por camadas de celulose, são o principal produto econômico do algodoeiro (BELTRÃO et al., 1999).

De acordo com Buainain (2007), nos Estados Unidos, a cadeia do algodão é a quinta em geração de valor dentre as cadeias agrícolas, o que confere poder econômico e político considerável aos seus agentes. Os principais estados americanos produtores são o Texas, Mississippi e Califórnia, e as principais espécies cultivadas são o Upland (*Gossypium hirsutum*) e a Pima (*Gossypium barbadense*). Cerca de 40% da produção do algodão é cultivada sob irrigação e mais de 90% é colhida mecanicamente, fazendo-se uso intenso de variedades transgênicas resistentes a insetos (mais que 95%). Entre 1965 a 2003, esses estados responderam por cerca de 60% da produção americana, sendo o Texas o principal produtor. Nessa região, o algodão é cultivado em propriedades com área média superior a 500 hectares sob administração familiar, observando-se tendência à concentração pela eliminação das propriedades que não têm condições de aumentar a escala de produção. Nos últimos 50 anos, o número de propriedades reduziu em cerca de 40%, enquanto a área cultivada caiu 25% no mesmo período.

O algodão aparece como uma das culturas de maior importância mundial sendo grande parte dependente de sistemas de irrigação e de sistemas mecanizados que elevam significativamente o custo de produção dessa cultura sendo importante a adoção de métodos e tecnologias que visem um melhor aproveitamento operacional e energético nas atividades de campo.

Para a colheita mecânica, é importante que o preparo do solo, em particular o seu nivelamento, tenha sido bem feito. Para a boa operação da colhedora, a declividade máxima do terreno deve ser de 10%, a semeadura deve ser em linhas retas e a semeadora deve ter o mesmo número, ou múltiplo, de linhas da colhedora. A variedade deve ser de estrutura compacta, com tamanho homogêneo de plantas e ciclo precoce, para proporcionar maturação uniforme.

Por possuir características de resistência a altas temperaturas, a cultura do algodão constitui-se uma das mais importantes para regiões com o clima semi-árido onde recentemente, novas tecnologias estão sendo disponibilizadas para melhorar a produtividade e reduzir os custos, com destaque para a agricultura de precisão.

## 4.2 Preparo do solo

O preparo de solo compreende um conjunto de práticas que têm como objetivo a preservação das características físicas, químicas e biológicas do solo, oferecendo condições ideais para semeadura, germinação e desenvolvimento das plantas. Esta operação é considerada uma das mais importantes no manejo do solo, pois o uso excessivo de implementos inadequados rapidamente degradam o solo. Portanto, é necessário planejar o uso racional com implementos adaptados às condições e tipos de solo, procurando manter ou aumentar o seu potencial produtivo (EMBRAPA, 2010).

Segundo Siqueira (1999), o preparo do solo tem como objetivo otimizar as condições para a germinação e emergência das sementes, assim com o estabelecimento das plântulas e controle das plantas invasoras, sempre considerando as respostas da cultura e do solo, sendo a mecanização agrícola um importante componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural e no aumento da produtividade da mão-de-obra.

As operações necessárias e os métodos de preparo variam principalmente em função das condições e do tipo solo, da declividade do terreno e dos recursos mecanizados disponíveis, sendo importante também a eliminação dos restos da vegetação anterior.

A primeira etapa do preparo do solo consiste nas operações mais profundas e grosseiras. O solo deve ser revolvido com profundidade de 20 a 40 cm, visando romper camadas superficiais adensadas/compactadas e o encrostamento, podendo ainda, eliminar e enterrar as ervas daninhas existentes. Os implementos empregados nessa etapa são grade pesada, escarificador, arado de disco e de aiveca. O preparo secundário do solo visa destorroar e nivelar o solo para semeadura (EMBRAPA, 2010).

Desde que o emprego de máquinas e implementos agrícolas montados ou de arrasto passou a se generalizar, tornou-se preocupação de pesquisadores e empresas, a quantificação dos esforços atuantes nos tratores e implementos, além do consumo de combustível, em função das características dos sistemas de produção (SILVA et al., 1999).

De acordo Gamero et al. (1997), os itens que devem ser levados em conta para a escolha de um ou outro método de preparo são o tipo, a declividade, a susceptibilidade do solo à erosão, o regime de chuvas do local, as culturas a serem empregadas nos sistemas de cultivo e o tempo disponível para a realização das diversas operações agrícolas da propriedade no ano. No entanto, o manejo mais adequado deve ser decisivo para a escolha dos equipamentos a serem empregados e não o contrário.

Dentre as propriedades do solo que afetam a eficiência e desempenho operacional de um trator agrícola, podem-se mencionar a textura do solo, as condições de superfície, dependendo de cada tipo de cobertura existente e a umidade (YANAI et al., 1999).

O preparo do solo compreende em um conjunto de técnicas que se utilizadas de forma correta podem permitir uma melhor produtividade das culturas, contudo, se utilizadas de forma incorreta podem levar a degradação dos solos podendo atingir inclusive a desertificação de áreas agrícolas.

### **4.3 Consumo de combustível**

Diversos métodos podem ser considerados ao se estudar o desempenho de máquinas agrícolas. Os métodos diretos são assim denominados porque decorrem da instrumentação e monitoramento das máquinas, permitindo a determinação dos fatores que otimizam os seus desempenhos, tais como: capacidade operacional, eficiência e consumo de combustível (CORDEIRO, 2000).

De acordo com Mialhe (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida, constitui-se um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo ( $L.h^{-1}$ ;  $kg.h^{-1}$ , etc) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico =  $g cv.h^{-1}$ ;  $g kW.h^{-1}$ , etc). O consumo horário geralmente é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que podem ser expressas em termos ponderais ( $kg.h^{-1}$ ) ou volumétrico ( $L.h^{-1}$ ).

A quantidade de combustível utilizada para a implantação de culturas agrícolas é função de vários fatores tais como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e, principalmente, do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção (CORREA et al. 1999).

Gamero et al. (1986) construíram um medidor de consumo volumétrico de combustível, que fornece o valor do consumo de combustível em milímetros, necessitando fazer a conversão da leitura de nível da coluna num correspondente em volume. A montagem no trator é feita interceptando os fluxos de combustível do tanque e do retorno, de maneira que o medidor, através da abertura e fechamento sincronizado das eletro-válvulas, substitua os fluxos do tanque de combustível do trator pelo fluxo do medidor.

Segundo Mantovani et al. (1999), o medidor de fluxo de combustível é um sensor lógico e que o seu funcionamento é através de duas engrenagens ovais, uma delas é marcada por um ímã que sensibiliza um sensor indutivo a cada volta, correspondendo 1 ml de volume deslocado.

Lopes et al. (2003), utilizou um medidor de fluxo de combustível com o objetivo de comparar o consumo de um trator agrícola com 3 tipos de pneus em duas condições de lastragem, com e sem água nos pneus, e quatro velocidades de deslocamento, onde, os resultados evidenciaram que a condição de lastragem com água nos pneus ofereceu menor consumo específico e o aumento da velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico.

Segundo Cordeiro (2000), o consumo específico de combustível é um indicador consistente para a avaliação do desempenho do trator. O autor analisou o consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu e observou que este, quando equipado com pneu radial em comparação com o pneu diagonal e de configuração mista apresentou melhor conversão energética do combustível.

#### 4.4 Tratores e pneus agrícolas

Segundo Liljedahl et al. (1995), na seleção do trator para trabalho no campo, um dos itens mais importantes é a sua capacidade em desenvolver esforço para tracionar as máquinas e implementos agrícolas. Das três principais maneiras de utilizar a potência gerada pelo motor de um trator agrícola, tomada de potência, sistema hidráulico e barra de tração, esta última é a mais utilizada, apesar de ser menos eficiente. O principal motivo para o baixo desempenho na barra pode ser atribuído à patinação, mas outros fatores como: tipo de solo, geometria do trator, distribuição de peso sobre os rodados, transferência de peso durante a operação e as características do rodado, entre outros, também interferem na tração.

A resistência que um solo oferece aos órgãos ativos das máquinas de preparo do solo depende da área do solo mobilizada que ocorre em função da largura de trabalho do implemento, da profundidade de operação e das características e propriedades físicas estáticas e dinâmicas do solo (GAMERO e LANÇAS, 1996).

Segundo Franz (1988), os pneumáticos do trator constituem um de seus mais importantes componentes, pois tem a função de fornecer equilíbrio, vão livre, deslocamento, direcionamento e esforço tratório. Lee e Kim (1997) afirmaram ainda que a pressão de inflação tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície.

Correa (1999) destaca que o rodado é a última parte de ligação do motor do trator com o solo e seu estudo é de fundamental importância para o desempenho do trator, havendo, portanto, a necessidade de conhecê-lo melhor, utilizando a pressão de inflação indicada pelo fabricante e tomando os devidos cuidados com a sua manutenção. Segundo a autora, todo pneu é projetado para suportar determinadas cargas com uma pressão de ar especificada, sendo que a correta calibração dos pneus lhe garante maior vida útil.

Pneus com baixa pressão de inflação tendem a ter maior área de contato com o solo, fornecendo ao trator maior capacidade tratória. Correa et al. (2000) observaram uma tendência de melhoria na capacidade tratória, quando os pneus estavam inflados na pressão recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram diferenças expressivas do uso da pressão correta em relação às altas pressões de

inflação, com redução de 11,5% na patinagem e de 3,2% no consumo de combustível do trator. Os autores obtiveram ainda um aumento de 3,7% na potência na barra de tração e de 4,4% na capacidade operacional, com o uso da pressão recomendada pelo fabricante de pneus comparado com a pressão baixa em pneus diagonais.

Potier (1990) menciona testes comparativos de um trator equipado com pneu radiais convencionais Kleber 20.8R42 Super 100 com pressão de 250 kPa (36 lbf/pol<sup>2</sup>), e pneus radiais largos Kleber 710/75R34 Super 15, pressão 150 kPa (22 lbf/pol<sup>2</sup>) realizando aração na primavera com solo seco, com a tração dianteira ligada e desligada. Nas duas condições ocorreu melhor desempenho do pneu largo, sendo porém, mais evidente com a tração dianteira desligada. Neste caso, obteve-se um aumento de 7,0 % na velocidade e na capacidade operacional, decréscimo de 19,0 % na patinagem e de 10,3 % no consumo de combustível, expresso em L/ha<sup>-1</sup>. Com a tração ligada; o aumento foi de 3,1 % para a velocidade e a capacidade operacional e, decréscimos de 14,2 % e 6,4 %, respectivamente, para a patinagem e o consumo de combustível.

Lanças et al. (1995) estudaram os efeitos de pneus radiais em rodagem dupla 20.8 R 48 em ambos eixos de tração em condições de campo com trator 4X4, para duas estações do ano (primavera e verão) em solo da Califórnia (EUA). Os testes realizados na primavera, foi realizado em um solo relativamente seco denominado *Capay clay* em um campo de arroz localizado em *Woodland* (EUA). Os testes realizados no verão, foram realizados em um solo denominado *Ricon silt clay/yolo silt loan* na Universidade de Davis-Califórnia. Os resultados mostraram que, com pressão correta/baixa ocorreram menor consumo de combustível, menor compactação do solo, maior desempenho operacional e maior capacidade de campo. A pressão de inflação reduzida tem sido recomendados pelos fabricantes de pneus agrícolas.

Correa et al. (1997), estudou o desempenho em campo de um trator agrícola equipado com pneus traseiros radiais de baixa pressão (Michelin 600/65R34) XM 108) e pneus diagonais(diagonais Pirelli 18.4-34 TM 64/R e Goodyear 18.4-34 DT II), todos com pressão de inflação de 110 kPa (16 lbf/pol<sup>2</sup>). As seguintes vantagens foram encontradas com o uso de pneu radial de baixa pressão: aumento de até 4,8 % na velocidade e capacidade operacional de campo e redução de até 28,9 % na patinagem.

Segundo Mialhe (1980), os pneus utilizados em tratores e máquinas agrícolas devem suportar com segurança o peso do trator ou da máquina em condição estática e dinâmica, agir como um sistema de amortecimento dos impactos provocados pelas irregularidades do solo, além de garantir com eficiência a transmissão das forças motrizes e frenantes do trator ao solo e vice-versa.

Lanças (1996) quantificou e avaliou os benefícios do emprego da correta pressão de inflação em pneus radiais em tratores agrícolas, utilizando como variáveis 3 tipos de pneus, duas pressões de inflação dos pneus, duas diferentes cargas verticais aplicadas nos pneus, dois tipos de solos e duas condições de superfícies dos solos ensaiados. Obteve como resultado que a pressão de inflação dos pneus mais baixa foi a que apresentou melhores resultados em relação as variáveis estudadas, sendo que esta pressão apresentou um aumento no coeficiente de tração líquida na faixa de 30 a 45 % e um aumento de 10 a 15 % na eficiência trativa.

Conforme Correa e Lanças (2000) em uma avaliação do desempenho operacional de pneus radiais de baixa pressão e pneus diagonais em trator 4x2 com tração dianteira auxiliar desligada, foi utilizado um medidor de vazão de combustível, tipo engrenagens ovais, ligados a um totalizador remoto e conversão pulso/sinal analógico, proporcional a vazão. Nesse modelo de medidor, para cada volta das engrenagens, 1 cm<sup>3</sup> de combustível é deslocado ao mesmo tempo um pulso elétrico, que é convertido e apresentado no indicador digital, em L.h<sup>-1</sup>, L.min<sup>-1</sup> ou volume total no período, conforme seleção de botão na parte frontal do indicador. Ainda segundo os mesmos autores, o consumo específico para o pneu diagonal foi 547 g kW.h<sup>-1</sup>, enquanto que para o pneu radial foi 433 g kW.h<sup>-1</sup>, com pressão correta para cada tipo de pneu.

Segundo Barbosa et al. (2005) avaliando o desempenho de um trator agrícola equipado com dois tipos de pneus alternadamente, verificaram que o consumo horário e específico para o pneu radial foi respectivamente, 13,06 L.h<sup>-1</sup> e 544,47 g kW.h<sup>-1</sup>, enquanto que para o pneu diagonal os consumos horário e específico foram maiores, 13,64 L.h<sup>-1</sup> e 671,80 g kW.h<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 4.5 Agricultura de precisão

A crescente necessidade nos próximos anos em diminuir os custos e aumentar a produtividade nas propriedades rurais, levando-se em conta a escassez de água, os elevados preços dos combustíveis, a diminuição de terras produtivas e a preservação do meio ambiente tem aumentado o interesse em pesquisas científicas e o desenvolvimento de equipamentos na área agricultura de precisão.

Segundo Elias (1998) o surgimento do conceito de agricultura de precisão foi proposto pela primeira vez no ano de 1929 por pesquisadores da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois, que estudaram a acidez dos solos e notaram que esta variava amplamente, mesmo em pequenas áreas. Os pesquisadores destacaram então a importância da execução de estudos sistemáticos e detalhados a fim de se verificar, ponto a ponto, as reais necessidades de calcário para a correção de tal acidez.

Com os avanços tecnológicos e científicos ocorridos, o conceito inicial da agricultura de precisão, proposto por Linsley e Bauer (1929) sofreu alterações e aprimoramentos. Atualmente, a agricultura de precisão pode ser vista como um sistema integrado totalmente dependente de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, destinados ao levantamento em campo e em condições dinâmicas de um número bastante elevado de dados.

Cappelli (2001) afirma que a agricultura de precisão surgiu da necessidade contínua do aumento da produção e da otimização da agricultura. Sendo que através da observação e estudo, ocorre à obtenção de informações dos fatores que causam a variabilidade de cada área do solo, através das análises desses dados se pode obter um conhecimento detalhado sobre a área, que pode auxiliar na tomada de decisões e proporcionar um resultado significativo. Além disso, o conhecimento da variabilidade espacial dos componentes do solo, que definem a produtividade das culturas é indispensável na instalação de um programa de agricultura de precisão. Existem diversas maneiras para identificar variabilidades no campo, como: amostragem do solo, levantamento dos solos, técnicas de sensoriamento remoto, utilização de modelos de simulação e a utilização de sensores. (CORÁ e MARQUES JR., 1998).

Mantovani (2000) afirma que o termo agricultura de precisão pode ser definido como sendo o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Essa nova filosofia de se fazer agricultura tem levado ao uso de três tecnologias, que são o sensoriamento remoto, os sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema global de navegação por satélite (GNSS).

Conforme Searcy (1995), o uso extensivo do grande número de dados adquiridos com a agricultura de precisão exige a utilização de sistemas de aquisição e análise de dados, sistemas computacionais de processamento e suporte a decisão e equipamentos automáticos destinados à realização de operações em campo.

Em uma visão mais voltada para os equipamentos, Clark e McGuckin (1996) afirmaram que a agricultura de precisão envolve sistemas automáticos, basicamente compostos por microcontroladores, sensores e atuadores acoplados ao implemento agrícola pré-existente e interligado ao GNSS (Sistema global de navegação por satélite).

Em relação aos benefícios proporcionados pela agricultura de precisão, Antuniassi et al. (2007), afirmou que em termos econômicos, a utilização desta tecnologia possibilitou a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico. Do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos devem ser avaliadas como principais benefícios da agricultura de precisão.

Cerri (2005) instalou um monitor de produtividade para a cultura da cana-de-açúcar que possibilitou a identificação da variabilidade espacial de uma área de 42 ha. A pesquisa mostrou que apesar do aparente aspecto homogêneo da área de estudo, foi possível verificar a existência de uma importante variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo onde a aplicação de calcário, fósforo e potássio em taxas variáveis representaram um ganho de aproximadamente R\$ 72,00.ha<sup>-1</sup> por safra.

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 fertilizantes e defensivos, além de reduzir o impacto ambiental.

Werner (2007) realizou a análise econômica entre a agricultura tradicional e a agricultura de precisão na cultura de soja nas safras de 2002/2003 até 2005/2006 e concluiu que o sistema de manejo em agricultura de precisão, na propriedade, reduziu o custo de produção médio da cultura em R\$ 2,43.ha<sup>-1</sup>, aumentou a margem líquida no manejo em 18,4%, aumentou a lucratividade média 3,9% e aumentou a rentabilidade média em 0,6%, para uma safra.

Apesar de todos os benefícios, sabe-se que número de propriedades agrícolas que adotam a agricultura de precisão no mundo ainda é relativamente pequeno onde fatores como a falta de conhecimento técnico dos produtores rurais e o alto valor de investimento em tecnologias aparecem como barreiras que afetam o seu crescimento.

Com o surgimento de novas tecnologias e o crescente investimento das indústrias na produção de equipamentos mais sofisticados para a agricultura de precisão tem proporcionado vantagens econômicas, produtivas e ambientais aos produtores. A tendência é de que em alguns anos os sistemas de posicionamento se tornem cada vez mais precisos devido à integração dos novos sistemas globais de satélites fazendo com que aumente o número de propriedades que adotem a agricultura de precisão.

Observa-se entre os pesquisadores um consenso entre os benefícios oferecidos pela prática da agricultura de precisão, contudo na agricultura de precisão a informação de cada fase do processo é de grande importância, desde os dados que são extraídos do mercado consumidor, até os dados que são coletados através dos sensores instalados nos implementos agrícolas. Os dados obtidos no decorrer dos trabalhos de campo por meio dos sensores são armazenados em equipamentos que se encontram muitas vezes no interior do trator, de onde após a operação são retirados para a devida análise a que se destinam (GUIMARÃES e SARAIVA, 2002).

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, caberá ao produtor rural buscar as tecnologias e os métodos mais adequados à suas necessidades que visem maior retorno econômico e ambiental.

#### 4.6 Sistema global de navegação por satélite (GNSS)

Até recentemente, os processos de levantamento de dados de campo para aquisição de bases cartográficas baseavam-se na utilização de medidas de ângulos e distâncias terrestres para atingir seus objetivos. Uma das restrições mais severas era a necessidade de haver intervisibilidade entre os pontos a serem medidos (ROCHA, 2007).

O crescimento da agricultura de precisão observada nos últimos anos só foi possível com os avanços adquiridos no sistema global de navegação por satélite. Grande parte dos processos agrícolas voltados à agricultura de precisão como os sistemas de direcionamento e os sistemas de aquisição de dados necessitam do GNSS para a execução de seus processos.

Atualmente o único sistema global de navegação via satélite totalmente funcional é o sistema americano NAVSTAR-GPS ou apenas GPS, desenvolvido pelo departamento de defesa americano tendo sido declarado totalmente operacional em 1985. O sistema russo GLONASS, é similar ao sistema americano GPS, concebido no início da década de 70 pela antiga URSS, tornou-se operacional no fim de 1995. No entanto, nos últimos anos, devido à falta de lançamento de novos satélites em substituição dos mais antigos o sistema russo não se encontra com sua total capacidade de funcionamento

Existem ainda outros sistemas de navegação via satélite ainda em fase de desenvolvimento, como é o caso do sistema europeu GALILEO, com previsão de funcionamento para o ano de 2014 e o sistema chinês COMPASS.

O NAVSTAR-GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano onde as intenções iniciais era utilizá-lo, principalmente, para a navegação com propósitos militares. Somente com a descoberta da grande precisão do sistema e com o aumento da eficiência dos receptores é que passou a ser também utilizado pela comunidade civil (ROCHA, 2007).

De acordo com Monico (2008), o objetivo original do sistema era a determinação instantânea da posição, velocidade e tempo de um usuário, em qualquer lugar na Terra ou próximo a esta, independentemente das condições atmosféricas, em um referencial global e homogêneo, com base em medidas de distâncias.

Conforme Rocha (2002), o GPS determina a posição medindo a distância entre o aparelho receptor e os satélites 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. Conhecendo as coordenadas do satélite num sistema de referência adequado, pode-se determinar as coordenadas do usuário. Pelo ponto de vista puramente geométrico (distância tridimensional) bastariam apenas três satélites (equivalendo ao cálculo de três distâncias). Na prática, a diferença entre os relógios do satélite e do receptor não é conhecida, o que introduz mais uma incógnita no problema e que pode ser determinada a partir de um quarto satélite. Portanto, os dados referentes à observação deste quarto satélite faz-se necessários para sincronizar o relógio do receptor com os relógios dos satélites. 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. O receptor GNSS fornece informações de latitude, longitude e altitude (localização tridimensional) usando sinais de quatro satélites.

Segundo Monico (2000), o GPS é formado por três segmentos principais: espacial, controle, usuários. O segmento espacial é constituído de 24 satélites distribuídos em 6 planos orbitais, responsáveis pela transmissão de duas ondas portadoras: L1 e L2 (com 1575,42 e 1227,60 MHz de frequência e 19 e 24 cm de comprimento de onda, respectivamente). Cada satélite transmite um código C/A e P modulados em fase sobre as duas portadoras, o que permite o cálculo de distâncias a partir da medida do tempo de propagação da modulação. O código C/A (*coarse acquisition*) é modulado sobre a L1 sem criptografia e está disponível a todos os usuários do globo, sem a cobrança de taxas, com acurácia horizontal e vertical dentro de 10 e 14 m, respectivamente. O código P (*precise* ou *protected*) proporciona medidas mais precisas, com acurácia ao redor de 10 a 20 cm, sendo modulado sobre a L1 e L2 com criptografia por ter sinal protegido e reservado para o uso dos militares americanos e seus usuários autorizados, os quais disponibilizam o sinal através de receptores DGPS (sistema de posicionamento global com correção diferencial). O segmento de controle é composto por doze estações terrestres de monitoramento responsáveis pela transmissão de dados entre os satélites e uma estação de controle, a qual processa os dados recebidos, determina as órbitas dos satélites, corrige seus relógios, e retransmite os dados visando a

atualização periódica das mensagens de navegação. As coordenadas das estações são determinadas em relação ao sistema de referência WGS84 (*world geodetic system of 84*). O segmento de usuários é constituído pelos receptores GNSS de diversas marcas disponíveis no mercado civil, para as mais diversas aplicações (navegação, geodésia, etc).

O princípio básico do funcionamento da tecnologia do GPS está na trilateração, utilizando os satélites como pontos de referência. O receptor GNSS 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).

Testes realizados com receptores de navegação civis evidenciaram uma precisão 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 acima de 100 metros. Este distúrbio imposto aos usuários não autorizados foi denominado Disponibilidade Seletiva.

O erro de aproximadamente 100m gerado pelo departamento de defesa americano tornava inviável a utilização do GNSS para a agricultura de precisão, contudo, em maio de 2000, um decreto de lei fez com que o governo removesse esse sinal de interferência o que reduziu o erro do posicionamento horizontal em torno de 10 metros.

Antuniassi et al. (2007) definiu o GPS como sendo um sistema projetado para fornecer o posicionamento instantâneo. Na agricultura, o GPS é utilizado somente como uma espécie de sensor fornecendo as coordenadas do campo para o computador ou processador na máquina.

Na agricultura os outros três tipos mais comuns de posicionamento são o DGPS (correção via satélite, submétrico), GPS absoluto com correção por algoritmo (também submétrico mas possui uma degradação da precisão em relação ao tempo, que funciona muito bem para direcionamento manual) e o RTK (*real time kinematic*, milimétrico). Dependendo da precisão desejada para uma determinada aplicação na agricultura é necessária uma ou outra tecnologia de correção dos erros do GPS (ANTUNIASSI, et al., 2007).

Segundo Baio (2005) o DGPS é uma técnica usada para melhorar a precisão do GPS pelo processamento contínuo de correções nos sinais, que podem ser transmitidas por rádio via Frequência Modulada (FM) ou via satélite e são disponibilizadas em alguns países através de serviços de subscrição taxados ou gratuitamente para os usuários de um determinado fabricante.

De acordo com Guerra (2006), uma outra tecnologia de correção diferencial, em tempo real, é a denominada WAAS que 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.

Pode-se afirmar que a utilização de sistemas de navegação via satélite voltado à agricultura de precisão pode trazer benefícios econômicos, operacionais e ambientais para a propriedade rural onde o tipo de atividade a ser executada nas operações agrícolas irá definir a necessidade de precisão a ser utilizada dependendo ou utilizar sistemas de posicionamento de correção diferencial.

#### **4.6.1 Posicionamento cinemático em tempo real (RTK)**

A técnica RTK (*real time kinematic*) de posicionamento diferencial tem sido utilizada desde 1985 em aplicações de alta precisão em tempo real. Embora utilize os mesmos fundamentos do DGPS, difere deste pelo tipo de variável observada e em consequência pela posição obtida (MONICO, 2000).

A técnica RTK é destinada ao posicionamento de alta precisão em tempo real. A estação de referência deve ser equipada com um receptor GNSS e um rádio modem transmissor. Por meio de programas computacionais específicos, ela gera correções diferenciais e as transmite via rádio para uma estação móvel, que se utiliza destas informações

para determinar sua posição com precisão. Para efetuar o enlace de comunicação são utilizados rádios transmissores que normalmente operam nas faixas de frequência VHF/UHF para este tipo de aplicação. A grandeza de observação fundamental utilizada no RTK é a medida da fase da onda portadora, que propicia precisão subdecimétrica ou melhor (KRUEGER, 1996).

O processamento de dados no método relativo cinemático pode ser realizado após a coleta (pós-processado) ou durante a coleta (tempo real). No caso do processamento em tempo real faz-se necessária a utilização de um *link* de rádio ou outro sistema de comunicação para a transmissão dos dados e também de *software* apropriado para o processamento dos dados em tempo real, no qual realize a solução das ambiguidades instantaneamente. Este método é similar ao método DGPS em tempo real, o qual utiliza as pseudodistâncias como observáveis. (MONICO, 2008).

Prado (2001) analisou a acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK e verificou que para as linhas de comprimentos base entre 0,2 a 29 Km de base, o DGPS possibilitou erros planimétricos inferiores a 2,5 m, ao passo que na técnica RTK estes erros não ultrapassaram a 7 cm. Com respeito aos erros altimétricos, verificou-se que os mesmos são inferiores a 6 m na técnica DGPS e a 15 cm na técnica RTK.

Além das correções diferenciais de fase, a técnica RTK pode usar as observações brutas de pseudodistância e de fase da onda portadora. Segundo Prado e Krueger (2003), o uso de observações brutas permite uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como a eliminação dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores. As correções diferenciais são aplicadas diretamente na fase observada no receptor móvel; as observações de fases brutas são utilizadas em algoritmos de dupla diferença de fase, possibilitando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real.

O princípio de posicionamento da técnica RTK fundamenta-se na transmissão das medições puras da fase da portadora ou das correções diferenciais da fase da portadora, ambas mensuradas na estação de referência. Na primeira situação, a estação móvel forma duplas diferenças de fase (DDF), enquanto na segunda adota-se uma abordagem similar à técnica DGPS. A vantagem da utilização das DDF com respeito às correções diferenciais de fase corresponde a uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como da eliminação dos relógios dos satélites e dos receptores (PRADO e KRUEGER, 2003).

#### 4.7 Sistemas de direcionamento via satélite

Em diversas operações agrícolas durante o cultivo da cultura são necessárias diversas aplicações, operações ou atividades que exigem algum tipo de orientação, principalmente no plantio mecanizado, onde não há nenhuma referência e uma orientação incorreta de marcação de solo pode interferir no espaçamento incorreto da cultura durante todos os anos daquele talhão (ANTUNIASSI et al., 2007).

A orientação de máquinas agrícolas em faixas adjacentes é freqüentemente realizada por métodos convencionais que incluem marcadores de espuma, orientação pelas fileiras de plantio, riscadores ou marcadores de solo, corrente ou cabo, dentre outros. Entretanto, a utilização destas técnicas pressupõe a existência de sobreposições e/ou falhas na demarcação das fileiras, dos espaçamentos desejados ou na aplicação. Nas operações de aplicação de defensivos, adubos ou corretivos, sobreposições implicam em custos adicionais na aplicação, além de danos a cultura e/ou ao ambiente, enquanto falhas na aplicação devem ser evitadas ao máximo para garantir a eficiência da distribuição correta do insumo ou do controle fitossanitário. Já, erros nas operações para demarcação das fileiras de plantio causam discrepância no espaçamento desejado, podendo acarretar uma diminuição no espaçamento desejado, podendo acarretar uma diminuição na produtividade local, no caso de espaçamentos menores, ou acarretar um desperdício de área útil que poderia ser cultivada, no caso de espaçamentos maiores que o planejado (ANTUNIASSI et al., 2007).

Para melhorar o rendimento nas operações agrícolas os sistemas de direcionamento tradicional como os riscadores de solo e os marcadores de espuma estão sendo substituídos por sistemas de direcionamento via satélite.

Os equipamentos utilizados na agricultura de precisão têm por principal finalidade a melhoria das condições e dos resultados em uma operação agrícola. Dentre esses equipamentos, a barra de luz tem como finalidade a orientação do operador durante uma operação agrícola, de forma que o mesmo possa se localizar no campo, proporcionando uma diminuição na incidência de sobreposições de faixas, assim como de áreas sem a aplicação do insumo agrícola.

No início, estes equipamentos eram capazes somente de operar nos alinhamentos ou percursos em reta. Com o desenvolvimento da tecnologia alguns modelos foram lançados no mercado com a possibilidade de operar em curva. Na maioria dos modelos existentes é necessário apenas localizar os pontos inicial e final do alinhamento de referencia. Quase todos os modelos já detectam automaticamente a manobra no final do alinhamento, indicando ao operador o posicionamento do alinhamento seguinte (ANTUNIASSI et al., 2007).

Segundo Baio e Antuniassi (2003), a acurácia no alinhamento é extremamente dependente da habilidade do operador, pois os sistemas de direcionamento via satélite somente indicam a mudança, cabe ao operador corrigir a rota do veículo durante a aplicação. Esta dependência também acontece com outras técnicas de alinhamento. A acurácia do sistema de direcionamento via satélite em guiar o operador nos alinhamentos também é dependente da acurácia do GPS, pois é este equipamento quem vai fornecer a informação de posicionamento para o sistema de direcionamento via satélite.

Os sistemas de direcionamento via satélite por barra de luz são operacionalizados pela ação do condutor do veículo em corrigir a rota programada do veículo de acordo com a informação visual dada por um conjunto de luzes indicativas dispostas a frente do operador. (BAIO, 2005).

Han et al., (2002) atentaram para a necessidade da realização de ensaios dinâmicos para a avaliação da acurácia de uma barra de luz, pois é para esta condição que este equipamento foi desenvolvido. Estes autores desenvolveram uma metodologia para ensaios comparativos da acurácia de barra de luz em relação ao posicionamento dado por um GPS geodésico. A mensuração da variável resposta na metodologia desenvolvida por estes autores foi feita através de um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Segundo Baio et al. (2001), a barra de luz é um equipamento utilizado para a orientação de um veículo em faixas adjacentes, diminuindo a sobreposição da operação agrícola entre passadas consecutivas e otimizando a eficiência da aplicação agrícola.

Outro tipo de equipamento utilizado para o direcionamento via satélite é o monitor eletrônico, em que a orientação em campo é dada pela utilização de um dispositivo com uma tela de cristal líquido que possui um desenho ilustrativo de um veículo em campo e a rota programada por onde o operador deve seguir. Assim, este equipamento

substitui um conjunto de luzes ou *LEDs* por uma tela que ilustra, ou simula, um veículo e um percurso que deve ser seguido. Este percurso a ser seguido pode ser ilustrado na tela de cristal líquido por um corredor virtual ou por uma linha imaginária disposta à frente do veículo ilustrativo (CULTIVA, 2004).

A tecnologia evoluiu no sentido da automatização dos sistemas de direcionamento via satélite surgindo então os sistemas automáticos de direcionamento ou autodirecionamento, também popularizado como piloto automático. Estes sistemas automatizados são acoplados por meio hidráulico do veículo (trator ou colhedora), onde o próprio sistema de direcionamento via satélite corrige a rota do veículo quando há necessidade, diminuindo o esforço do operador e aumentando a precisão do sistema. Assim, a atenção do operador se volta à operação em si, aos controles da colhedora ou à operação realizada pelo implemento do trator (ANTUNIASSI, et al., 2007).

Como relatou Baio e Antuniassi (2003), uma inovação aos sistemas de direcionamento foi o desenvolvimento da automatização do direcionamento do veículo agrícola através de processadores eletrônicos conectados ao DGPS. O sistema de orientação e o DGPS são ligados diretamente ao controlador eletrônico do sistema de direção do veículo (trator ou autopropelido) por meio eletro-hidráulico, e assim, o próprio sistema de direcionamento corrige a rota do veículo quando há a necessidade, diminuindo o esforço do operador e aumentando a acurácia do sistema. Este aumento da acurácia do sistema é alcançado pela eliminação do controle humano neste processo, os controles da rota são realizados mais rapidamente e com maior acurácia. Uma grande vantagem dos sistemas de auto-direcionamento é que o operador pode focar sua atenção para os controles da operação (pulverização, colheita, preparo do solo, sulcação, dentre outros) possibilitando um ganho na qualidade da operação (pulverização com maior qualidade, colheita com a plataforma cheia, melhor controle de profundidade do sulco ou implemento de arrasto, etc). Todos os sistemas de auto-direcionamento possuem sensores adicionais que monitoram a inclinação do veículo em terrenos acidentados e corrigem a rota de acordo também com esta inclinação, melhorando ainda mais a acurácia pela eliminação do efeito da declividade no posicionamento correto do centro do veículo entre as passadas. Alguns sistemas de auto-direcionamento ainda possuem bússolas eletrônicas que auxiliam na eliminação de uma possível falha momentânea de informação do DGPS.

As principais vantagens dos sistemas automáticos de direcionamento do trator são o aumento da capacidade operacional, a redução na utilização no número de máquinas e operadores, o paralelismo correto mesmo com a presença de curvas, menor consumo de combustível, tráfego e compactação controlados.

Segundo Baio (2005), muitos destes sistemas utilizam o GPS com correção por RTK para a informação do posicionamento, em que um GPS é disposto em um ponto de coordenadas conhecidas, chamado de ponto base, e que envia o sinal de correção via ondas de rádio para o GPS que é colocado no veículo. Este sistema de correção proporciona uma acurácia muito maior, quando comparado aos sistemas de correção por sinal de satélites ou mesmo por algoritmos.

#### **4.8 Sensores e transdutores**

A eletrônica embarcada e a utilização de sensores na agricultura podem gerar informações importantes ao produtor rural para otimizar as operações mecanizadas de campo gerando um melhor rendimento energético e menor desgaste das máquinas agrícolas.

Arce (2008) afirma que um sensor é um dispositivo tecnológico que tem suas propriedades (elétricas, mecânicas, etc.) alteradas na presença de um sinal, condição física ou química, como por exemplo, temperatura, pressão, umidade, PH, odores, compostos químicos, etc.

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 mensurado 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.

De acordo com Fonseca (2009) transdutores ou sensores representam o componente sensorial dos sistemas de medição, que pertencem a um campo tecnológico mais amplo chamado instrumentação. A medição é o processo de associar números a entidades e eventos no mundo real.

Horowitz e Hill (1989) definem como transdutores os sensores que convertem grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, magnetismo, peso, aceleração, intensidade do som, etc. em grandeza elétrica, gerando sinais que podem ser manipulados por circuitos eletrônicos, quantificados por um conversor analógico-digital e analisados por computadores ou sistemas de aquisição de dados.

São exemplos de transdutores amplamente empregados: os termopares e os termistores, os quais medem a temperatura, os sensores de pressão de silício integrado, para medir a pressão, e as células de carga, para medir força. Para medir indiretamente a umidade do solo, há sensores, como os resistivos, que tomam por base a variação da resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a qual é tanto menor quanto maior sua umidade. Outro exemplo são os sensores com base na propriedade dielétrica do solo, com variação proporcional à umidade, e os transdutores de pressão, que medem a tensão da água do solo.

Além de serem utilizados para mensurar valores obtidos por máquinas e pelos solos, os sensores e transdutores podem ser empregados com a finalidade de mensurar outras variáveis do setor agrícola, segundo Santos et al. (2007).

Segundo Ragni e Santoro (1997), a metrologia aplicada esta ligada ao desenvolvimento de sensores e da informática e teve seu progresso após a década de 60 com a miniaturização dos componentes eletrônicos e de sensores, tornando possível a utilização destes em tratores ou implementos sem a necessidade de grandes mudanças em suas estruturas.

De acordo com Antuniassi et al. (2001), sistemas com maior grau de avanço tecnológico possuem monitores ou controladores, que utilizam informações geradas por sensores.

Deve-se levar em conta a importância da calibração dos sensores antes da coleta de dados, para averiguar sua efetividade em prover dados confiáveis. Ensaios agrícolas são feitos em diversas condições de campo e solo, devido a este fato, alguns sensores ou transdutores podem se comportar melhor ou pior do que outros em determinadas condições (MANTOVANI et al., 1999).

A maioria das operações que envolvem sensores para a coleta de dados necessita de um condicionador de sinais que tenha capacidade de receber os sinais gerados e transformá-los em dados inteligíveis. Além dos condicionadores de sinais, atualmente, são utilizados cada vez mais programas computacionais desenvolvidos, especificamente para o processamento dos dados obtidos (GUERRA, 2006).

Os sensores e transdutores na agricultura têm como finalidade, principalmente a aquisição de dados, e podem ser instalados em tratores e máquinas agrícolas onde na agricultura de precisão sua utilização é indispensável no fornecimento de dados podem auxiliar na tomada de decisões nas propriedades rurais.

#### **4.9 Sistemas de aquisição de dados**

Segundo Mantovani et al. (1998) pode-se observar nos Estados Unidos e na Europa uma intensa modificação no meio rural que também começa a se iniciar no Brasil. Esta modificação é fruto do uso de tecnologia de ponta no meio rural, visando aumentar a capacidade de trabalho da propriedade e a precisão dos equipamentos, objetivando a racionalização dos recursos naturais. Isto tem sido possível graças ao uso de automação, instrumentação e ferramentas de suporte a decisão.

A partir de 1970, com o advento da microeletrônica, dos computadores pessoais e, posteriormente, dos computadores portáteis, as possibilidades de estudos e avaliações de fenômenos agrícolas cresceram rapidamente (SPOLON, 1994).

Atualmente, diversas áreas utilizam a aquisição de dados para processar as informações necessárias à sobrevivência na era da informação. A aquisição de dados engloba métodos e dispositivos capazes de transformar informações do mundo real, preponderantemente analógico, para o formato digital, com os quais os computadores trabalham.

Garcia et. al. (2003), afirma que na agricultura vários cientistas têm trabalhado em diversas áreas, utilizando algum tipo de sistema eletrônico de aquisição de dados com finalidade de monitorar eventos em suas pesquisas.

Silva e Benez (1997) construíram um sistema de aquisição de dados para medir, exibir e gravar os dados necessários à avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em trabalhos de campo, usando um sistema eletrônico de aquisição de dados e instrumentos indicadores digitais. Concluíram esses autores que, a grande vantagem do sistema eletrônico de aquisição de dados é a variação na taxa de amostragem e a grande quantidade de dados coletados durante a realização dos ensaios, possibilitando o estudo da grandeza monitorada de modo detalhado.

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

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.

Nota-se que a aquisição de dados dos mais variados setores da agronomia são atualmente obtidos em frações de segundos com uma frequência de aquisição muito rápida, acrescentando maior precisão e confiabilidade aos estudos realizados.

Storino et al. (2000) estudaram o desempenho do trator como indicador do estado físico do solo em agricultura de precisão. Determinaram os principais parâmetros operacionais como rotação do motor, consumo de combustível, e velocidade de deslocamento, bem como a sua localização no campo, usando o sistema GNSS.

Mazzetto e Landonio (1999) desenvolveram um sistema que caracteriza a posição do trator no campo usando GPS, determinando, também, velocidade de deslocamento, consumo de combustível, rotação do motor e operador. Os dados processados são armazenados no trator e transferidos a um computador central através do uso de cartão usado para o armazenamento de dados.

Schlosser et al. (2004) utilizou um sistema de aquisição automática de dados para a avaliação da influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores. O sistema de aquisição recebeu os dados de diversos sensores, o que permitiu o cálculo da velocidade e do avanço do trator.

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.

Johnson (1997) afirma que a coleta de dados pode ser automatizada sem colocar em xeque a precisão dos dados obtidos. Através da aquisição automática de dados eliminam-se erros gerados pela transcrição de dados, além de aumentar a taxa de leitura das variáveis.

O custo de um sistema de aquisição de dados é em alguns casos, compensado pelo fato de se possuir um sistema dedicado mais simples e, portanto mais barato, pois adicionalmente, há um ganho em produtividade por se ter um sistema adequado as necessidades, e bem mais simples de operar (LIBONATI et al., 2003).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Materiais

#### 5.1.1 Descrição da área de estudo

Os ensaios foram realizados no *Maricopa Agricultural Center* - MAC, pertencente à *The University of Arizona* localizada na cidade de Maricopa estado do Arizona, Estados Unidos.

Foram utilizadas duas áreas com características diferentes de textura de solo, denominadas Área 1 e Área 2 (Figura 1). Em função do sistema de irrigação por alagamento adotado nas culturas, as áreas apresentaram uma declividade de 1% no sentido longitudinal e foram niveladas no sentido latitudinal.

A Área 1 está localizada entre as coordenadas geográficas UTM 33°05' S e 111°97' W e altitude de 430 m, com classificação de textura de solo franco argilo arenoso (52% areia, 35% argila, 13% silte). A Área 2 está localizado entre as coordenadas geográficas UTM 33°07' S e 111°97' W e altitude de 430 m , com classificação de textura de solo franco arenoso (71% areia, 12% argila e 17% silte) conforme ilustrado na Figura 2.

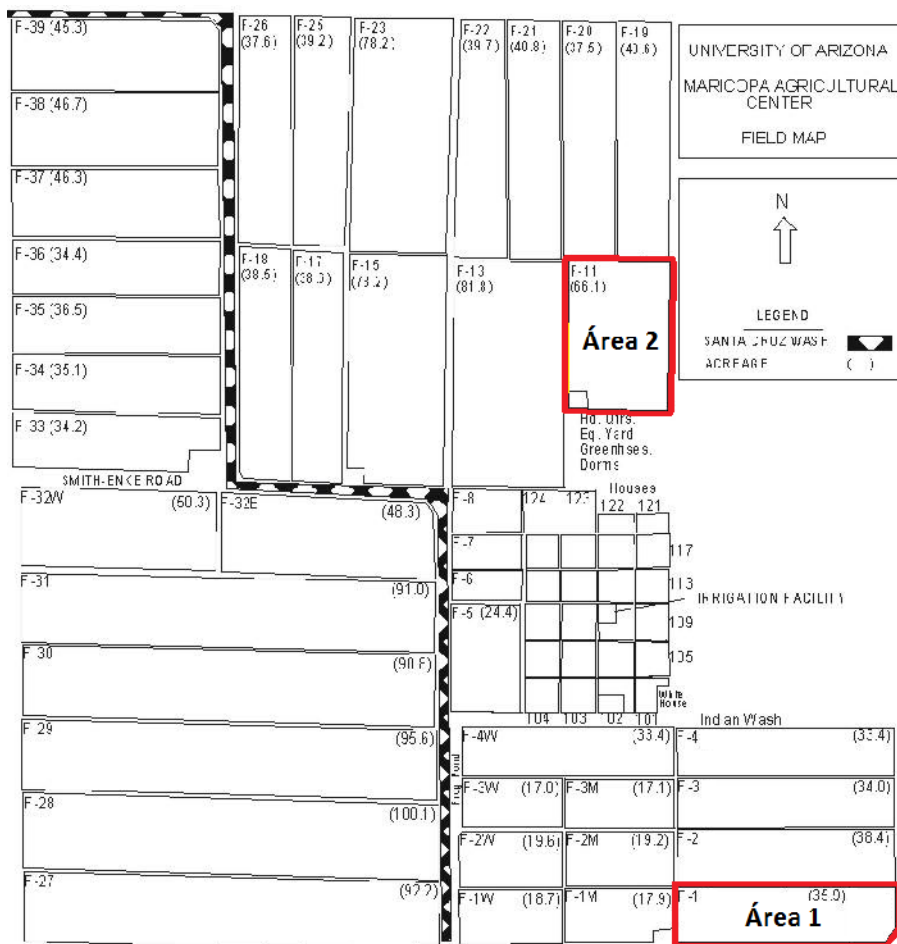


Figura 1. Mapa da Maricopa Agricultura Center e localização das áreas de estudo.

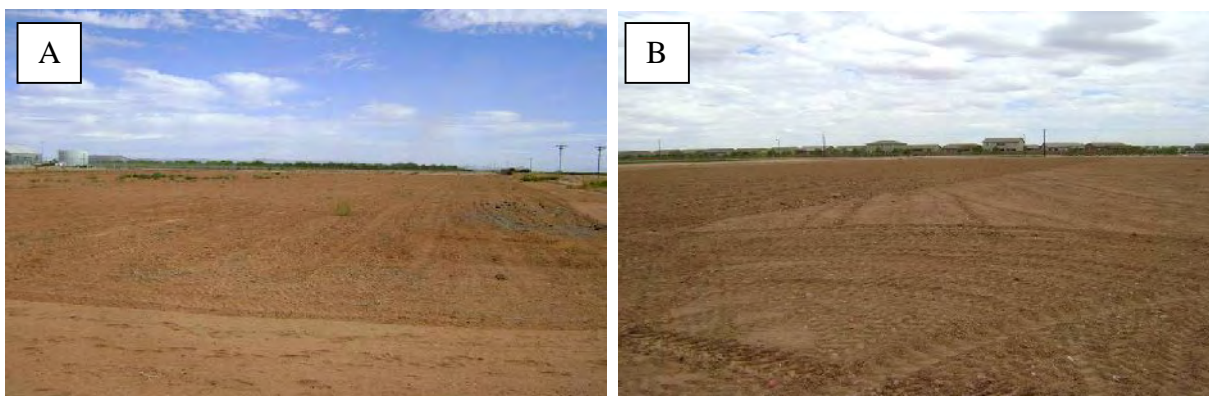


Figura 2. Vista parcial da Área 1 (A) e Área 2 (B).

### 5.1.2 Trator e pneus agrícolas

Para a realização dos ensaios foi utilizado um trator agrícola da marca Case, modelo MXM 120, 4x2 TDA com potência de 88kW (120 cv), descrito na Tabela 1 e ilustrado na Figura 3. Os pneus utilizados foram da marca Michelin tipo 320/85R38 dianteiros e 329/90R54 os traseiros.

Tabela 1. Especificações do trator.

Descrição	Características
Marca	IH Case
Modelo	MXM 120
Motor	6 cilindros, 7,48L, turbo e <i>intercooler</i>
RPM máximo do motor	2200
RPM mínima do motor para 540 RPM TDP	1969
Capacidade de carga no sistema hidráulico	4425 kg
Peso sem lastro	5366 kg



Figura 3. Trator Case MXM 120.

### 5.1.3 Sistema de direcionamento piloto automático

Foi utilizado um sistema de direcionamento piloto automático *AgGPS Autopilot System* desenvolvido pela empresa Trimble, conforme ilustrado na Figura 4.

O sistema possui sensores e equipamentos conectados junto ao sistema hidráulico de direção do trator que possibilitam que o trajeto da máquina seja feito de forma automática, sem necessariamente precisar da intervenção do operador, evitando assim sobreposições e falhas durante a realização dos ensaios.



Figura 4. Sistema de piloto automático Trimble.

O sistema de piloto automático utilizou um sensor de direção modelo *AgGPS Autosense Steering Sensor* da marca Trimble (Figura 5) capaz de fornecer medidas precisas do ângulo da roda do trator. A tecnologia obtém informações e continuamente as envia para o controlador de navegação para que sejam feitas as correções de direcionamento.



Figura 5. Sensor de direção.

O controlador de navegação utilizado foi o *NavController II* (Figura 6) . O componente processa todas as informações recebidas pelo receptor GNSS e sensores internos e envia as instruções corrigidas para o sistema hidráulico de direção do trator, para que sejam feitas as correções de direcionamento. O controlador de navegação possui também três giroscópios e três acelerômetros que são capazes de compensar os erros causados pela declividade do terreno.



Figura 6. Controlador de navegação.

As informações corrigidas do controlador de navegação são enviadas para a válvula de controle hidráulico do trator que recebe esses sinais elétricos e os converte em comandos hidráulicos no sistema de direcionamento da máquina (Figura 7).



Figura 7. Válvula de controle hidráulico.

Utilizou-se um monitor digital modelo *AgGPS FieldManager*, descrito na Tabela 2 e ilustrado na Figura 8, que integrou e processou todas as informações do sistema de piloto automático visualizando os mapas e as informações em tempo real.

Tabela 2. Especificações do monitor digital.

Descrição	Característica
Dimensões	295 mm (L) x 226 mm (A) x 60,5 mm (P)
Peso	2,18 kg (4,80 lb)
Material	Policarbonato de alto impacto
Visor	264,2 mm (10,4") diagonal 640 x 480 LCD à cores
Tela de toque	285,8 mm (11,25") diagonal
Processador Intel PXA255 x-scale arm	400 MHz
Memória RAM	64 MB
Bateria	NiMH Interna
Conector principal	28 pinos AMP (cabramento do <i>AgGPS Autopilot</i> )

\* Informações obtidas no manual de operação, fornecido pelo fabricante (TRIMBLE, 2009).



Figura 8. Monitor digital.

#### 5.1.4 Receptor GNSS

Para a obtenção das coordenadas geográficas pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*), foi utilizado um receptor modelo *AgGPS 332* da marca Trimble, apropriado para aplicações em agricultura de precisão, ilustrado na Figura 9 e descrito na Tabela 3. O receptor GNSS auxiliou no sistema de direcionamento de piloto automático do trator que utilizou o sistema de correção diferencial cinemático em tempo real (RTK).



Figura 9. Receptor e antena GNSS.

Tabela 3. Especificações do receptor GNSS.

Descrição	Características*
Dimensões	14,78 cm (L), 5,58cm (A), 21,59cm (P)
Alimentação	350mA – 12V DC
Temperatura de operação	- 30 até + 70 °C
Portas	2 portas de conexão ambas com suporte RS-332 e CAN
Canais	12 canais de recepção, L1, L2 e C/A
Tempo para fixar posição	< 30 segundos
Mensagens NMEA	GGA, GLL, GSA, GST, GSV, MSS, RMC1, ZDA, GRS, PJK, PTNL PJT, PTNLID, PTNL, PTNL VHD, VGK, VTG, PTNLDG, PTNLEV, PTNSLM, XTE, ZDA
Frequência de mensagens NMEA	Até 5 Hz
Frequência padrão de mensagens NMEA	1 Hz

\* Informações obtidas no manual de operação, fornecido pelo fabricante (TRIMBLE, 2009).

### 5.1.5 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi medido com a utilização de um sistema de medição de fluxo de combustível desenvolvido pela empresa *Floscan Instrument Inc.* modelo/série 7500/7600. O sistema consiste basicamente de dois fluxômetros, três reguladores de fluxo e um painel digital (Figura 10). O primeiro fluxômetro foi instalado após o sistema de filtragem de combustível na linha de alimentação da bomba injetora e o segundo fluxômetro no retorno de combustível do tanque (Figura 11).

O sistema permitiu mensurar o consumo de combustível durante os ensaios determinando a diferença dos valores de fluxo em unidade de volume (mL), antes do motor e durante o retorno do combustível para o tanque. O sinal gerado pelo fluxômetro é um sinal de pulso com relação de um pulso por mL de combustível, alimentado por 12 V<sub>DC</sub>.

As informações geradas pelos sensores foram processadas no painel digital, instalado na cabine do trator, que apresentam os valores do total de horas trabalhadas, rotações por minuto (rpm) do motor, consumo de combustível em litros por hora e consumo total de combustível em litros.

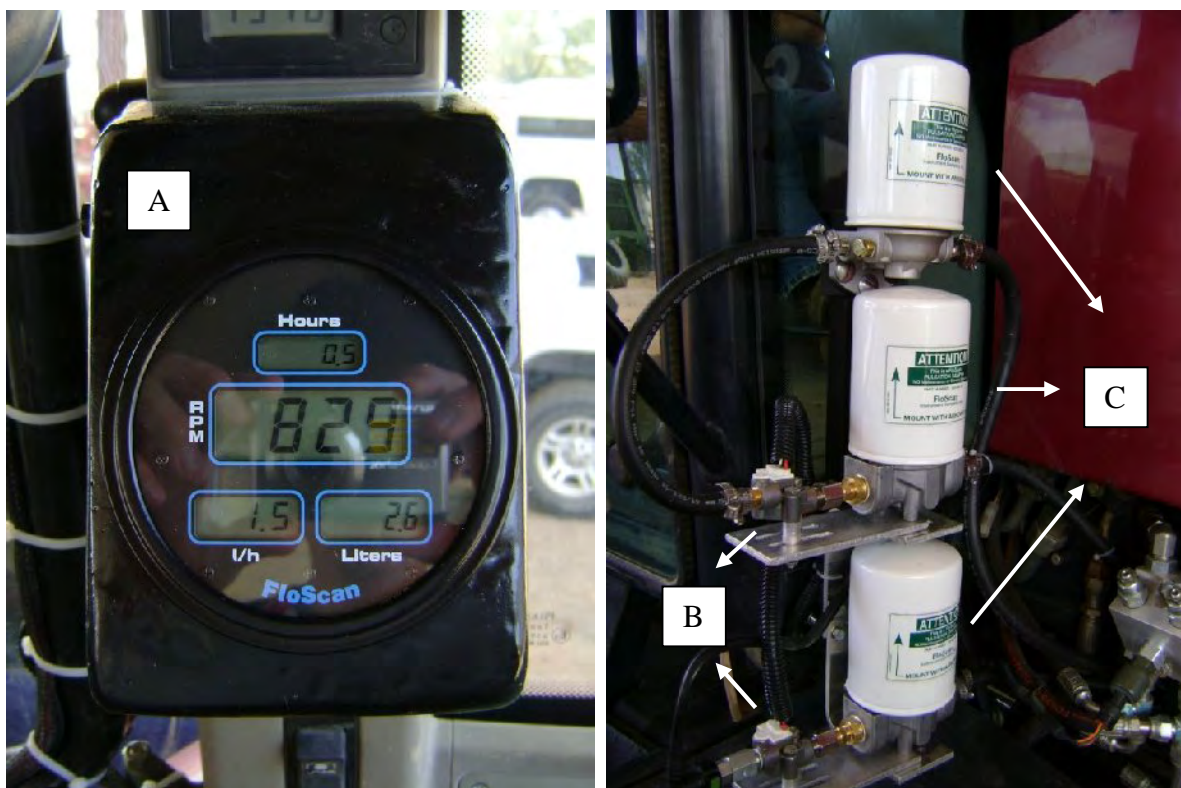


Figura 10. Painel digital (A), fluxômetros (B) e reguladores de fluxo (C).

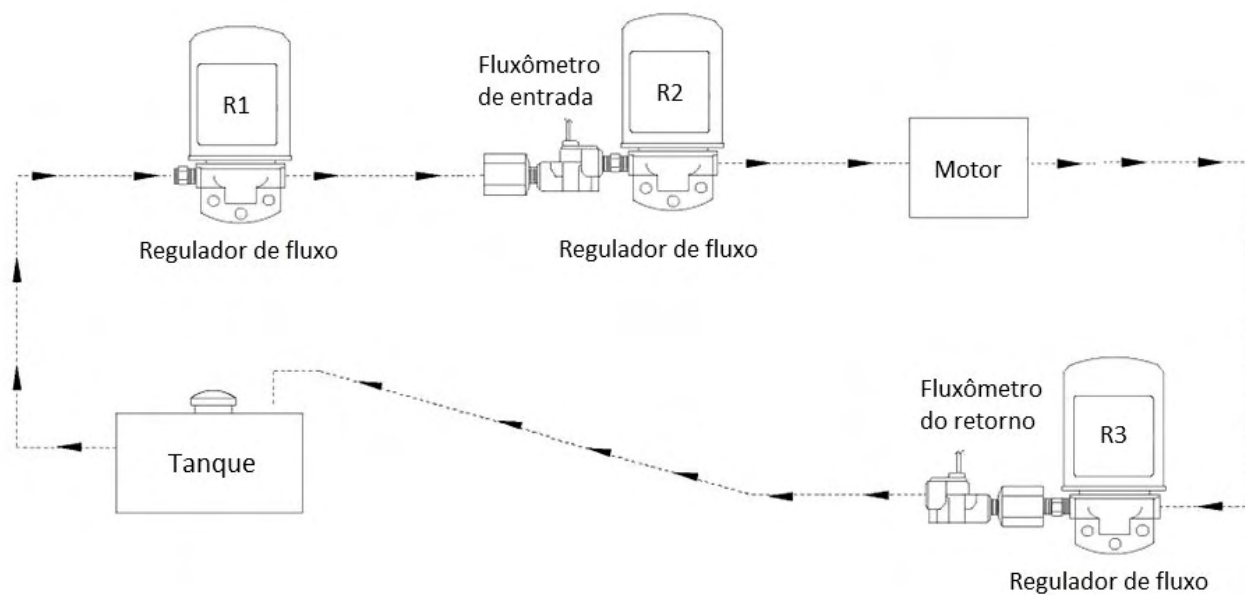


Figura 11. Esquema de instalação dos fluxômetros e reguladores de fluxo.

### 5.1.6 Aquisição de dados

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados modelo CR3000 da marca *Campbell Scientific* conforme ilustrado na Figura 12. O sistema de aquisição de dados incorpora teclado alfanumérico e visor LCD para visualização de programas e dados podendo ser utilizado tanto em locais remotos como em aplicações portáteis executando o processamento de dados por meio de uma linguagem de programação. As principais características do produto estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações do sistema de aquisição de dados.

Descrição	Características
Velocidade de varredura	100 Hz
Entradas analógicas	28 SE ou 14 Diff
Contadores de pulso	4
Canais de excitação	4 voltagem
Portas digitais	8 I/O
Portas de comunicação	1 RS232, 1 CS I/O, 1 paralela
Faixa de voltagem	5 V
Acurácia	0,1% + offset (0° a +40°)
Resolução analógica	0,33 $\mu$ V
A/D bit	16
Temperatura de operação (padrão)	-25° a +50°
Temperatura de operação (estendida)	-55° a +85°
Memória para dados	4 MB opcional
Alimentação	10 a 16 V <sub>dc</sub>
Consumo	~1,0 mA para taxa de 1Hz; ~10 mA para taxa de 100Hz
Dimensões	~24 x 18 x 9,6 cm

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



Figura 12. Sistema de aquisição de dados.

### 5.1.7 Célula de carga

Para a calibração do sistema de consumo de combustível pelo método gravitacional utilizando um tanque de combustível auxiliar, foi utilizada uma célula de carga descrita na Tabela 5 e ilustrada na Figura 13.

Tabela 5. Especificações da célula de carga.

Descrição	Características
Marca	TEDEA
Modelo	606
Capacidade máxima	100 kg
Tipo	S
Sensibilidade	1,8757 mV/V



Figura 13. Célula de carga.

### 5.1.8 Programa computacional

Foi utilizado o programa computacional *Datalogger Support Software PC400 1.5* (Figura 14) desenvolvido pela empresa *Campbell Scientific* para a programação de tarefas para os dados coletados pelo sistema de aquisição de dados.

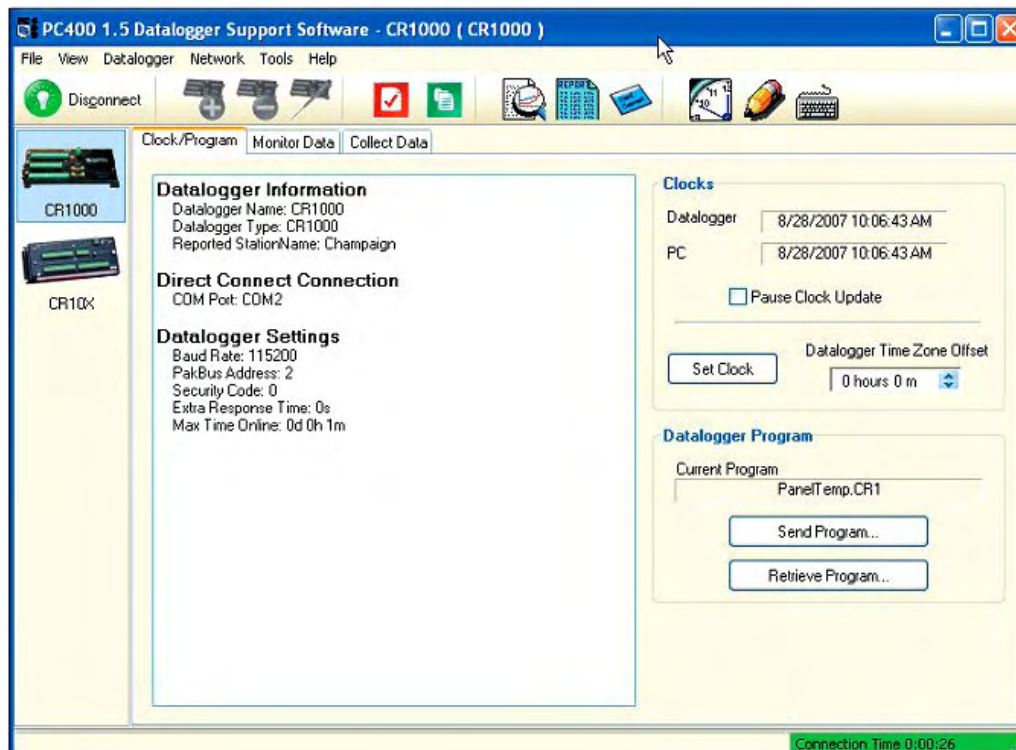


Figura 14. Programa computacional.

O programa computacional tem como principais características o alto nível de compatibilidade podendo ser utilizado por vários modelos de sistema de aquisição de dados e possuir ferramenta de programação *CRBasic*.

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Calibração do sistema de consumo de combustível

Para a calibração do sistema de medição de consumo de combustível foi utilizado um tanque auxiliar suspenso por uma célula de carga conforme Figura 15.

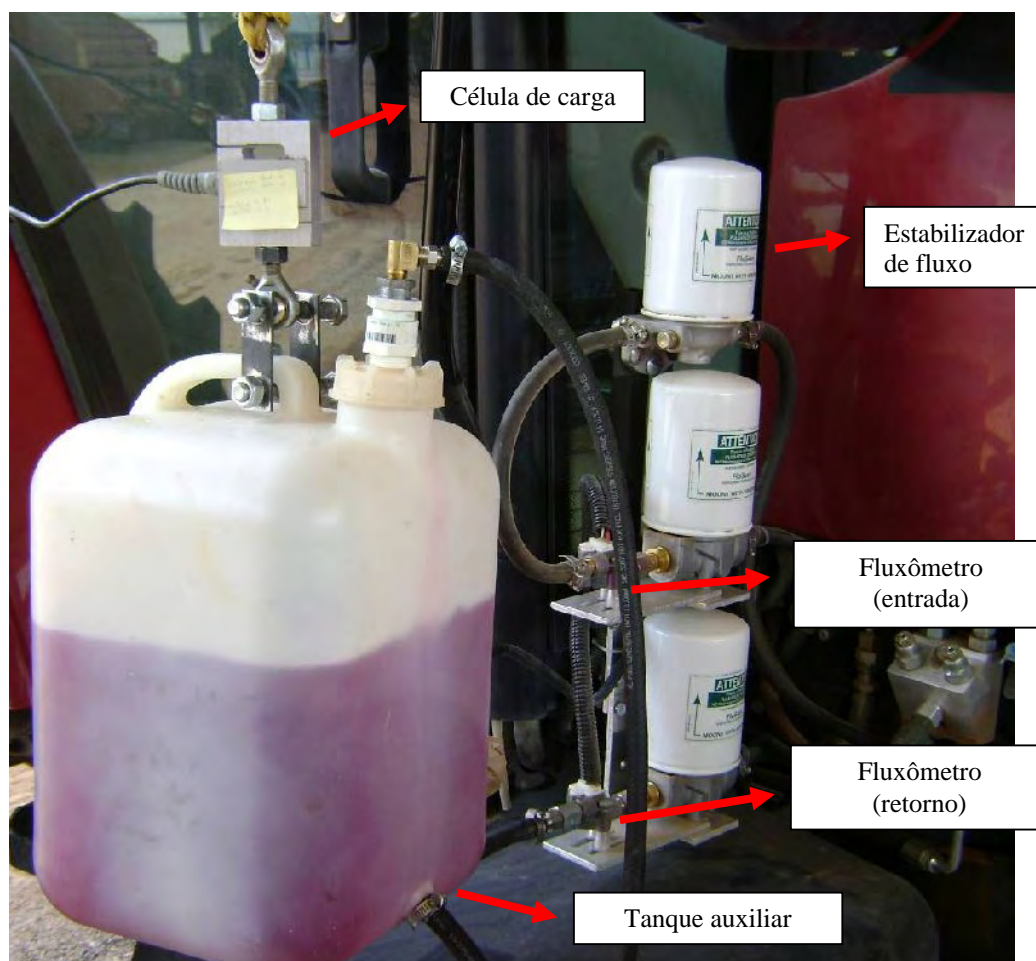


Figura 15. Calibração do sistema de consumo de combustível.

O sistema de aquisição de dados foi instalado dentro da cabine do trator para o armazenamento simultâneo dos dados gerados pela célula de carga e pelos dados gerados pelos fluxômetros.

A frequência utilizada pelo sistema de aquisição de dados foi de 2 Hz, sendo que cada pulso gerado pelos fluxômetros representou o consumo de 1 mL de combustível. A célula de carga gerou dados em Kg correspondentes à variação da massa de combustível do tanque auxiliar que posteriormente foram convertidos para mL com auxílio do programa computacional Microsoft Excel 2007.

Os ensaios para a calibração do sistema foram realizados com o trator em posição estática para os dois tipos de ensaio, o primeiro com a TDP do trator desligada e o segundo com a TDP do trator ligada. Para ambos os ensaios foram utilizadas diferentes rotações no motor, com intervalo de tempo de 4 minutos para cada rotação. As rotações utilizadas foram respectivamente 1200, 1400, 1600, 1800, 1600, 1400 e 1200.

Após a realização dos ensaios, os dados coletados pelo sistema de aquisição de dados foram transferidos para um microcomputador por meio de um cartão de memória de 512 MB (Figura 16).



Figura 16. Cartão de memória do sistema de aquisição de dados.

Os dados foram processados no programa computacional Microsoft Excel 2007 e para se obter uma melhor estimativa de conversão foram realizadas regressões lineares para cada rotação do motor utilizada durante os ensaios (Apêndice 1).

Os valores encontrados na regressão linear para cada rotação utilizada nos ensaios (Kg) foram convertidos para  $\text{mL.s}^{-1}$ , conforme o cálculo da Equação (1):

$$C_{rpm} = \left( \frac{C_{cel}}{0,8184} \right) * 1000 \quad (1)$$

onde:

$C_{rpm}$  – consumo total de combustível da rotação ( $\text{mL.s}^{-1}$ );

$C_{cel}$  – valor de consumo da célula de carga ( $\text{Kg.s}^{-1}$ );

0,8184 – densidade do óleo diesel;

1000 – fator de conversão para mL;

Para os dados coletados pelos fluxômetros, cada pulso gerado correspondeu a 1mL consumido, realizando-se o cálculo de consumo total de combustível para cada rotação conforme a Equação (2):

$$C_{rpm} = \left( \frac{C_f}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

onde:

$C_{rpm}$  – consumo total de combustível da rotação ( $\text{mL.s}^{-1}$ );

$C_f$  – valor de consumo de combustível do fluxômetro (mL);

t – variação do tempo

### 5.2.2 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram definidos em função do tipo de textura de solo e da pressão de inflação nos pneus (Tabela 6). Os ensaios de campo com os equipamentos arado duplo e canteirador foram realizados durante o primeiro semestre de 2009, época de preparo de solo para a cultura de algodão irrigado no estado do Arizona, Estados Unidos.

Tabela 6. Descrição dos tratamentos adotados nos ensaios.

Tratamento	Descrição
1	Solo franco arenoso, pressão de 124 kPa
2	Solo franco arenoso, pressão de 242 kPa
3	Solo franco argilo arenoso, pressão de 124 kPa
4	Solo franco argilo arenoso, pressão de 242 kPa

### 5.2.3 Aquisição dos dados

O sistema de aquisição de dados armazenou os dados obtidos pelo receptor GNSS e os dados obtidos pelos fluxômetros com uma frequência de aquisição de 2 Hz (Figura 17). Foram desenvolvidas linhas de comando com a linguagem de programação *CRBasic* através do programa computacional *Datalogger Support Software PC400 1.5* para a determinação das tarefas a serem executadas nos dados coletados (Apêndice 2).



Figura 17. Sistema de aquisição de dados (B) e painel digital (A).

### 5.2.4 Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi determinada a partir dos dados coletados pelo receptor GNSS. Para cada repetição realizada foi calculado a distância percorrida subtraindo-se os dados da posição inicial do trator pelos dados da posição final. O tempo decorrido foi adquirido pela subtração do tempo final pelo inicial de cada repetição. A velocidade de deslocamento ( $\text{Km.h}^{-1}$ ) foi obtida de acordo com a Equação 3:

$$V_{mr} = \left( \frac{s}{t} \right) * 3,6 \quad (3)$$

onde:

$V_{mr}$  – velocidade media da repetição ( $\text{Km.h}^{-1}$ );

$s$  – distância percorrida na repetição (m);

$t$  – tempo decorrido na repetição (s)

3,6 – fator de conversão

### 5.2.5 Consumo horário de combustível

Os pulsos gerados pelos fluxômetros volumétricos foram convertidos em volume considerando a vazão de 1 mL por pulso e o tempo gasto em cada parcela. O cálculo do consumo horário de combustível foi realizado de acordo com a Equação 4:

$$C_{hr} = \left( \frac{Tp}{t} \right) * 3,6 \quad (4)$$

onde:

$C_{hr}$  – consumo horário ( $\text{L.h}^{-1}$ );

$Tp$  – total de pulsos obtidos pelo fluxômetro;

$t$  – tempo decorrido na parcela (s)

3,6 – fator de conversão

### 5.2.6 Pressão de inflação nos pneus

Foi utilizado um conjunto de pneus para todos os ensaios. Os pneus utilizados foram da marca Michelin do tipo 320/85R38 dianteiros e 329/90R54 traseiros. As pressões de inflação utilizadas nos pneus foram de 242 kPa (35 psi) e 124 kPa (18 psi) para ambos pneus dianteiros e traseiros.

### 5.2.7 Ensaio 1 - Arado duplo

Para o Ensaio 1 utilizou-se o equipamento de preparo de solo arado duplo ilustrado na Figura 18 e descrita na Tabela 7. O equipamento possui característica de trabalho para quatro linhas de cultura e é responsável pela mobilização inicial do solo para a cultura do algodão irrigado (Figura 19).

Tabela 7. Características do arado duplo.

Descrição	Características
Peso	1519 Kg
Largura total	408 cm
Número de hastes	5
Distância entre hastes	101,6 cm

Para a realização do ensaio foi utilizado o trator Case MXM 120 com sistema de piloto automático ligado com velocidade média de deslocamento registrada de 6,9 Km.h<sup>-1</sup> com ambas as pressões de inflação nos pneus de 242 kPa (35psi) e 124 kPa (18psi) para a Área 1 e de 7 Km.h<sup>-1</sup> para ambas as pressões de inflação nos pneus para a Área 2. A rotação do motor foi de 1600 rpm constante para todas as repetições e a marcha utilizada foi a A-4.



Figura 18. Trator com equipamento arado duplo.



Figura 19. Mobilização inicial do solo realizado pelo equipamento arado duplo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com um arranjo fatorial 2x2, sendo analisados dois tipos de textura de solo (franco arenoso e franco argilo arenoso) e duas pressões de inflação nos pneus (242 kPa e 124 kPa) com três repetições, totalizando 12 parcelas experimentais conforme Figura 20.

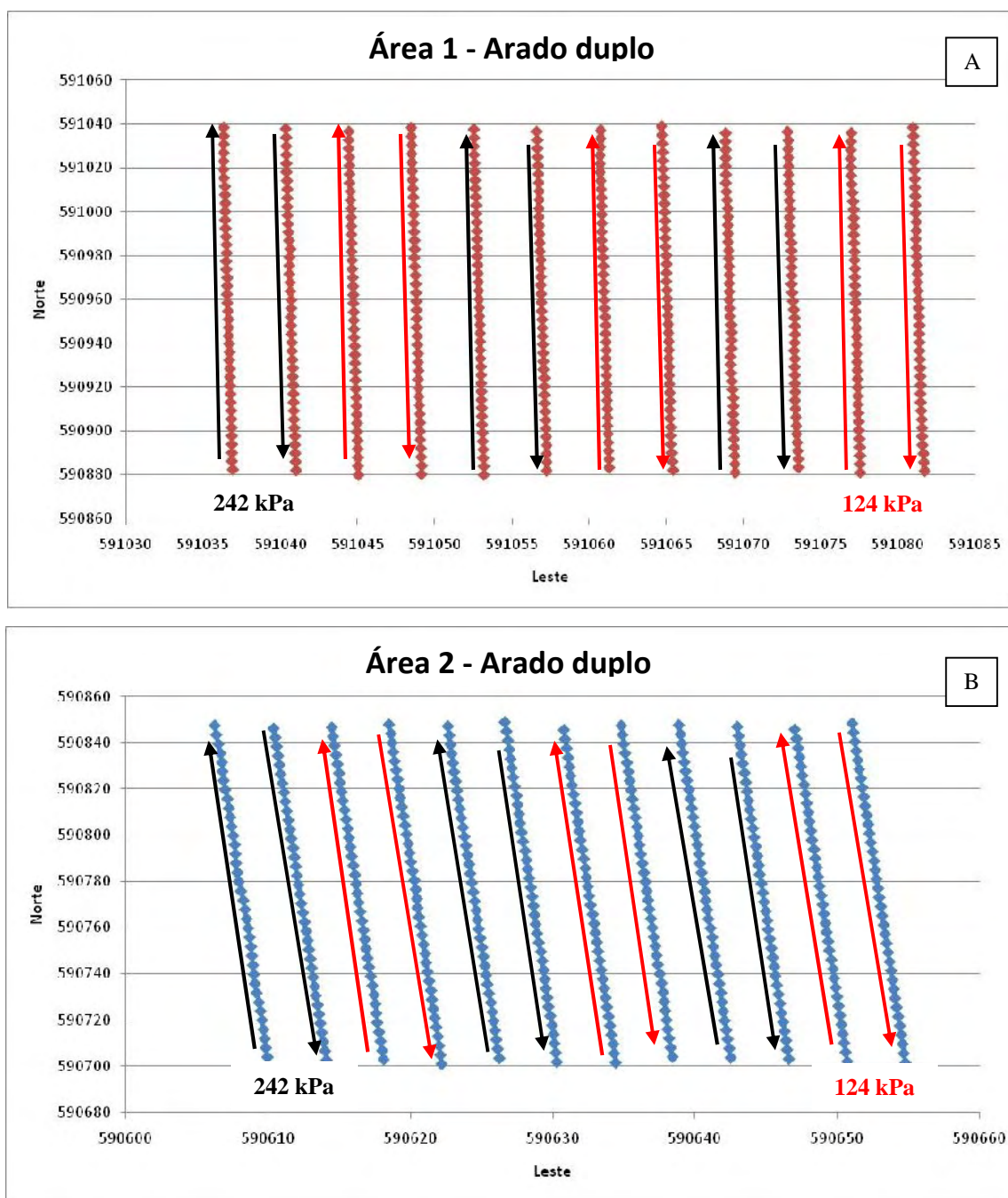


Figura 20. Repetições e tratamentos com o arado duplo para Área 1 (A) e Área 2 (B).

### 5.2.8 Ensaio 2 - Canteirador

Para a realização do Ensaio 2 foi utilizado o equipamento de preparo de solo canteirador ilustrado na Figura 21 e descrita na Tabela 8.



Figura 21. Equipamento canteirador.

Tabela 8. Características do canteirador.

Descrição	Características
Peso	1976 kg
Largura total	420 cm
Número de formadores de canteiros	4
Distância entre os formadores de canteiro	85 cm

O equipamento canteirador possui características de trabalho para quatro linhas de cultura e é responsável pela formação de canteiros (Figura 22) para a cultura do algodão irrigado, após a mobilização do solo ser feita pelo arado duplo.



Figura 22. Formação de canteiros na Área 2 com o equipamento canteirador.

A velocidade média de deslocamento para a Área 1 foi de  $6,8 \text{ Km.h}^{-1}$  utilizando as pressões de inflação nos pneus de 242 kPa (35psi) e 124 kPa (18psi). Na Área 2 a velocidade média foi de  $6,9 \text{ Km.h}^{-1}$  utilizando as pressões de inflação nos pneus de 242 kPa (35psi) e 124 kPa (18psi). A rotação do motor foi 1600 rpm, constante em todas as repetições e a marcha utilizada a A-5.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com um arranjo fatorial  $2 \times 2$ , sendo analisados dois tipos de textura de solo (franco arenoso e franco argilo arenoso) e duas pressões de inflação nos pneus (242 kPa e 124 kPa) com quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais conforme Figura 23.

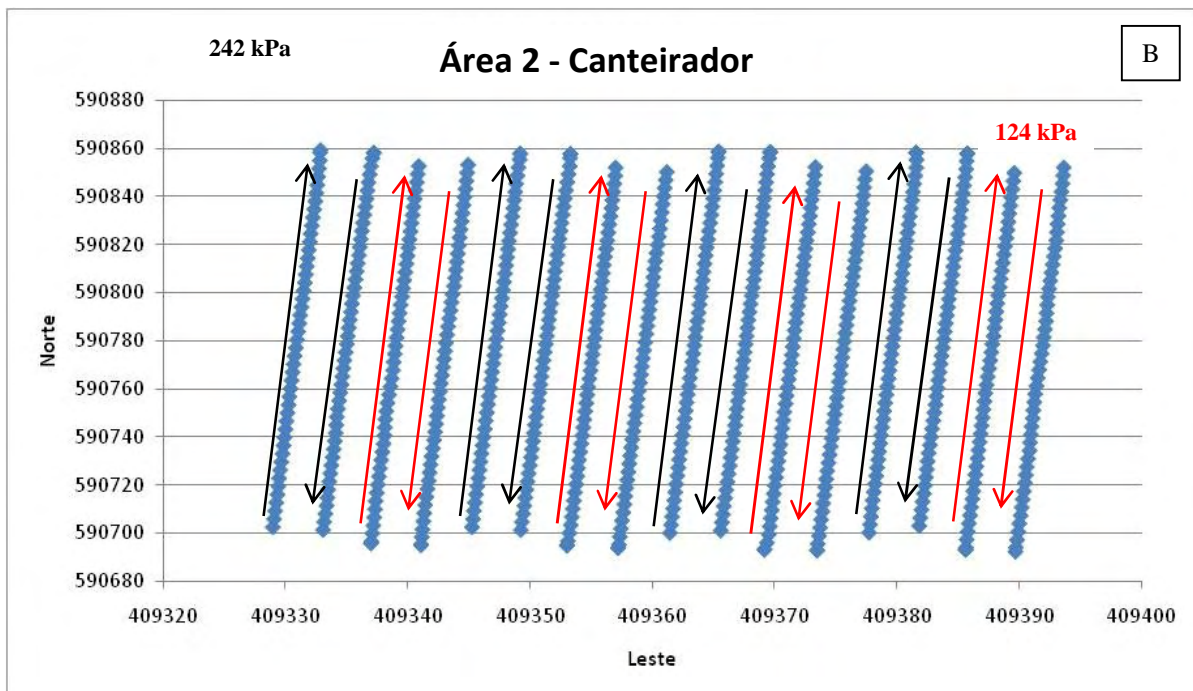
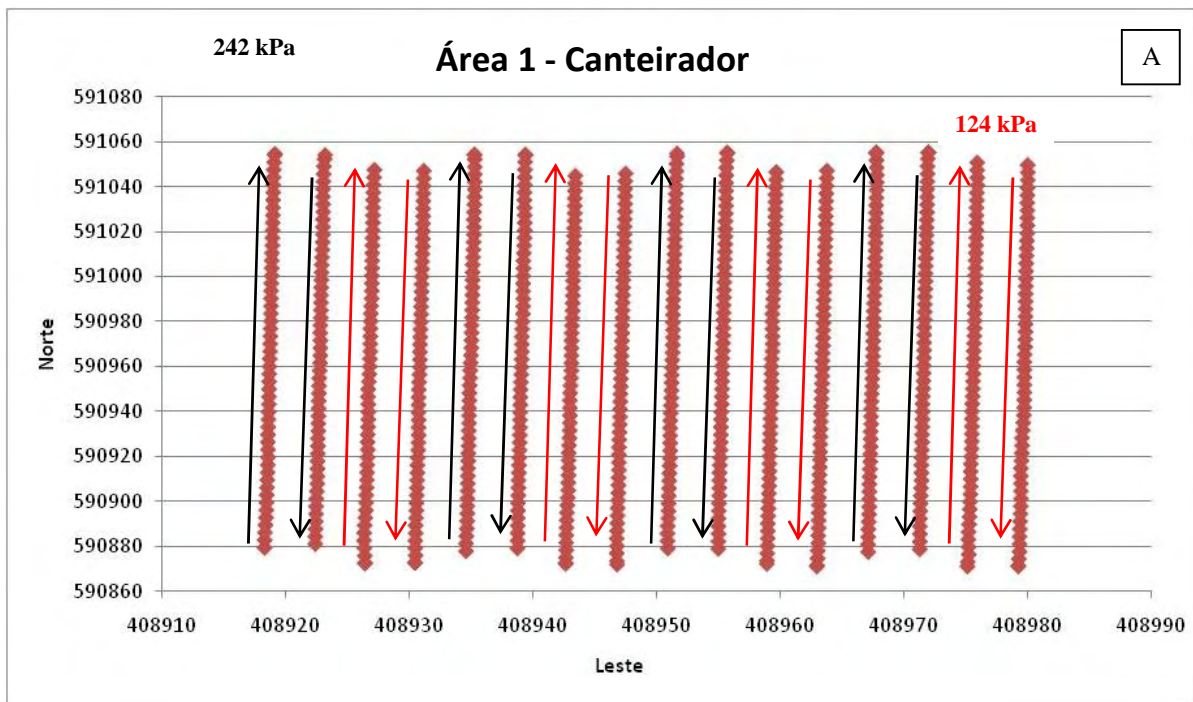


Figura 23. Repetições e tratamentos com o canteirador para Área 1 (A) e Área 2 (B).

## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 6.1 Calibração do sistema de consumo de combustível

Após o processamento dos dados foi gerado uma tabela comparativa dos valores de consumo de combustível coletados pelo sistema gravitacional e pelo sistema volumétrico. Observou-se a diferença no consumo de combustível ( $\text{mL.s}^{-1}$ ) para todas as rotações realizadas com a TDP do trator desligada (Tabela 9) e com a TDP do trator ligada (Tabela 10).

Tabela 9. Consumo de combustível com a TDP desligada.

<b>RPM</b>	<b>Célula de carga (<math>\text{mL.s}^{-1}</math>)</b>	<b>Fluxômetros (<math>\text{mL.s}^{-1}</math>)</b>
1200	0,945	1,033
1400	1,358	1,317
1600	1,358	1,450
1800	1,721	1,725
1600	1,520	1,513
1400	1,233	1,246
1200	1,017	1,138

Tabela 10. Consumo de combustível com a TDP ligada.

RPM	Célula de carga (mL.s <sup>-1</sup> )	Fluxômetros (mL.s <sup>-1</sup> )
1200	1,012	1,088
1400	1,292	1,333
1600	1,570	1,558
1800	1,974	1,883
1600	1,597	1,621
1400	1,274	1,388
1200	1,129	1,217

Foi obtido um gráfico comparativo de consumo de combustível entre os sistemas adotados (Figura 24), onde após o processamento dos dados foi observado um erro de 2,38% entre o sistema instalado por fluxômetros e pelo sistema gravitacional.

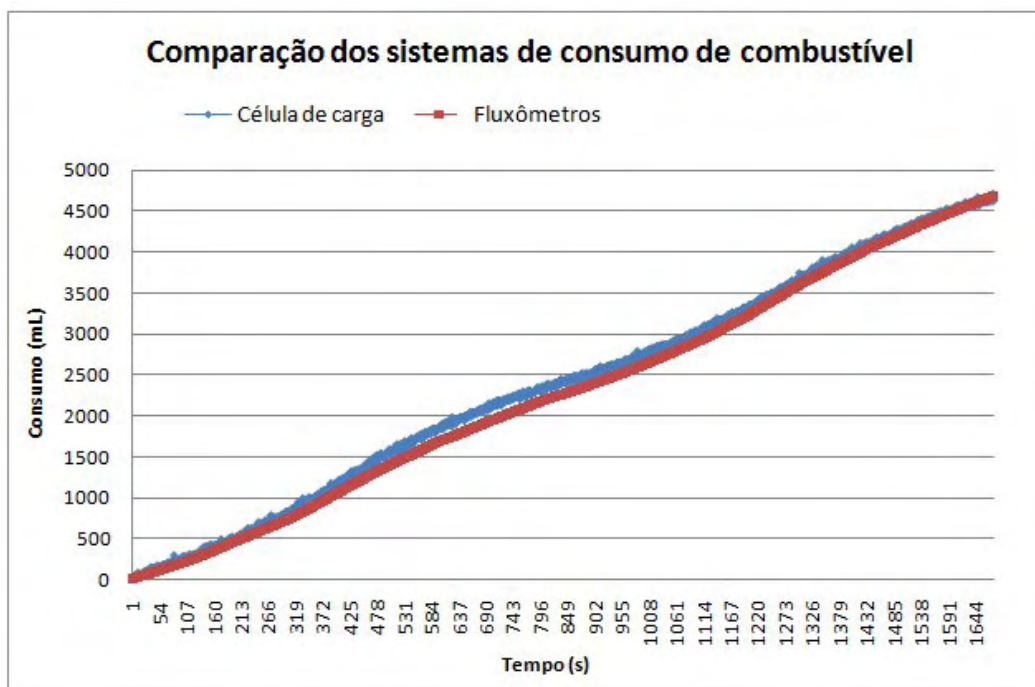


Figura 24. Gráfico comparativo dos sistemas de consumo de combustível.

## 6.2 Ensaio 1 - Arado duplo

Foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os dados foram testados pela análise de variância pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade em função da textura do solo e da pressão de inflação nos pneus, conforme a Tabela 11.

Não houve diferença estatisticamente significativa no consumo de combustível ( $L \cdot h^{-1}$ ) na interação entre os fatores textura do solo e pressão de inflação nos pneus, contudo, houve diferença estatisticamente significativa para o fator tipo de textura de solo e para o fator pressão de inflação nos pneus.

Tabela 11. Síntese dos valores da análise de variância para o consumo de combustível ( $L \cdot h^{-1}$ ) para o equipamento arado duplo.

Fonte de variação	G. L.*	SQ**	QM***	F (0,05)	P-valor
Solo	1	8,943	8,943	146,13	0,000 <sup>S</sup>
Pressão	1	1,005	1,005	16,43	0,006 <sup>S</sup>
Solo x Pressão .	1	0,117	0,117	1,91	0,216 <sup>NS</sup>
Bloco	2	0,295	0,147	2,41	0,170 <sup>NS</sup>
Resíduo	6	0,367	0,061		
Total	11	10,727			

\*grau de liberdade; \*\*soma dos quadrados; \*\*\*quadrado médio; <sup>NS</sup> não significativo; <sup>S</sup> significativo.

No fator tipo de textura de solo, observou-se redução de 8,6% no consumo horário de combustível na Área 1 (solo franco argilo arenoso) em relação à Área 2 (solo franco arenoso), conforme Figura 25.

Solos com textura mais argilosa, comparados com os de textura mais arenosa, tendem a exigir maior esforço trativo nas operações de campo o que conseqüentemente acarretam maior consumo de combustível do trator.

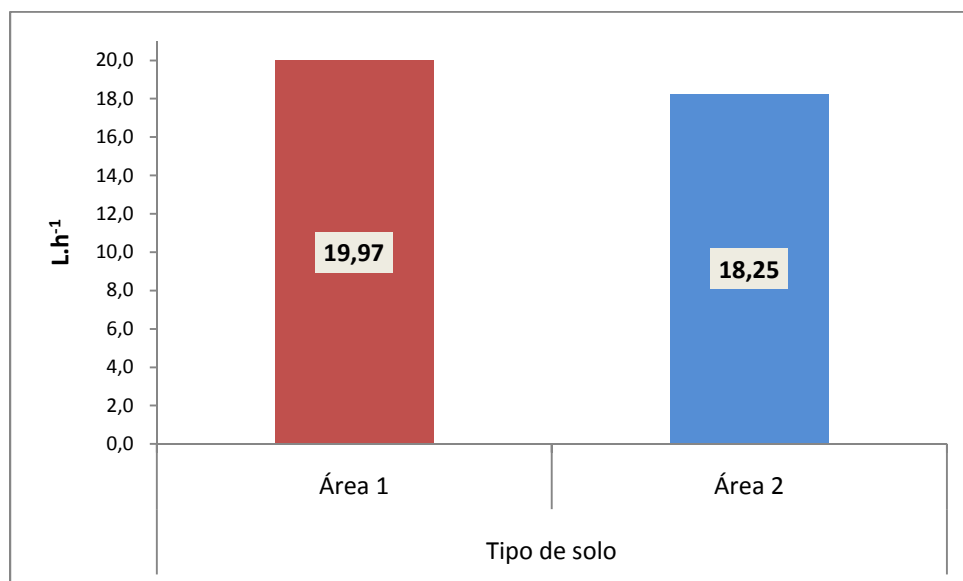


Figura 25. Consumo de combustível em função do tipo de textura do solo.

No fator pressão de inflação dos pneus, observou-se que houve uma redução de 3% no consumo horário de combustível utilizando a pressão mais baixa de 124 kPa em relação à mais alta de 242 kPa (Figura 26).

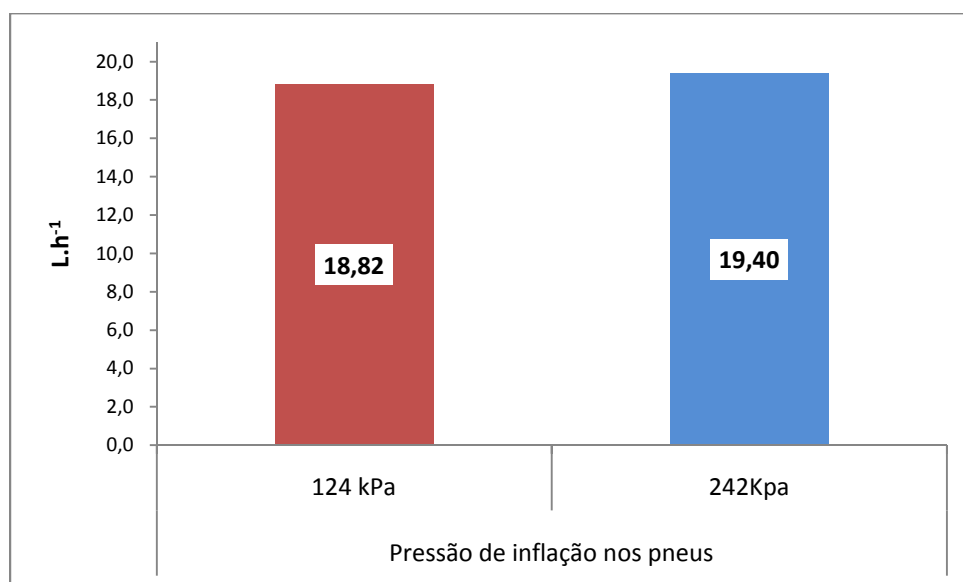


Figura 26. Consumo de combustível em função da pressão de inflação nos pneus.

Os resultados obtidos corroboram com os trabalhos de Lanças et al. (1995), Corrêa (1997) e Potier (1990) que confirmaram quantitativamente que pressões mais baixas em pneus radiais resultam em menor consumo de combustível, menor compactação do solo, maior desempenho operacional e maior capacidade de campo.

Ainda concordando com os resultados do trabalho, Corrêa (2000), ao comparar o desempenho de um trator agrícola com pneu radial de baixa pressão, em solo firme e mobilizado utilizando as pressões de 103 kPa e 62 kPa verificou que em solo firme, as principais vantagens do uso da pressão de 62 kPa, foram: redução de 27,0 % na patinagem, 11,7 % no consumo específico e 15,2 % no consumo por área; aumento de 6,6 % na capacidade de campo efetiva.

Analisando resultados do mesmo trabalho Correa (2000) verificou que em solo mobilizado as principais vantagens de um trator agrícola com pneu radial de baixa pressão foram: redução de 17,3 % na patinagem, 7,2 % no consumo específico e de 9,5 % no consumo por área trabalhada; aumento de 7,9 % na potência na barra e de 10,5 % na capacidade de campo efetiva.

### **6.3 Ensaio 2 – Canteirador**

Foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os dados foram testados pela análise de variância pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade em função da textura do solo e da pressão de inflação nos pneus, conforme a Tabela 12.

Para o fator pressão de inflação dos pneus confirmou-se a hipótese de menor consumo de combustível utilizando pressões mais baixas em pneus radiais, segundo citado por Lanças et al. (1995), Corrêa (2000) e Potier (1990). Houve uma redução de 3% no consumo horário de combustível utilizando a pressão mais baixa de 124 kPa em relação à mais alta de 242 kPa.

Tabela 12. Síntese dos valores da análise de variância para o consumo horário de combustível ( $L.h^{-1}$ ) com o equipamento canteirador.

Fonte de variação	G. L.*	SQ**	QM***	F (0,05)	P-valor
Solo	1	0,038	0,038	0,41	0,536 <sup>NS</sup>
Pressão	1	1,106	1,106	11,97	0,007 <sup>S</sup>
Solo x Pressão	1	0,644	0,644	6,97	0,026 <sup>S</sup>
Bloco	3	0,491	0,164	1,77	0,222 <sup>NS</sup>
Resíduo	9	0,832	0,092		
Total	15	3,110			

\*grau de liberdade; \*\*soma dos quadrados; \*\*\*quadrado médio; <sup>NS</sup> não significativo; <sup>S</sup> significativo.

Foi realizado o teste de médias Tukey onde foi possível identificar diferença estatisticamente significativa no consumo horário de combustível ( $L.h^{-1}$ ) na interação dos fatores textura do solo e pressão de inflação nos pneus, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Valores médios do consumo horário de combustível ( $L.h^{-1}$ ) do trator para duas texturas de solo e duas pressões de inflação nos pneus.

Tipo de textura de solo	Pressão de inflação nos pneus	
	242 kPa	124 kPa
Área 1	18,92 aA *	17,99 aB
Área 2	18,62 aA	18,49 aA

\* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5\%$ )

A utilização da pressão de inflação mais baixa de 124 kPa em solo com textura franco argilo arenosa apresentou os melhores resultados de consumo horário de combustível.

Os resultados evidenciaram redução de 4,9% no consumo horário de combustível em relação à Área 1 utilizando a pressão de inflação de 242 kPa; redução de 3,3% no consumo horário de combustível em relação à Área 2 utilizando a pressão de inflação de 242 kPa e redução de 2,7% no consumo horário de combustível em relação à Área 2 utilizando a pressão de inflação de 124 kPa, conforme ilustrado na Figura 27.

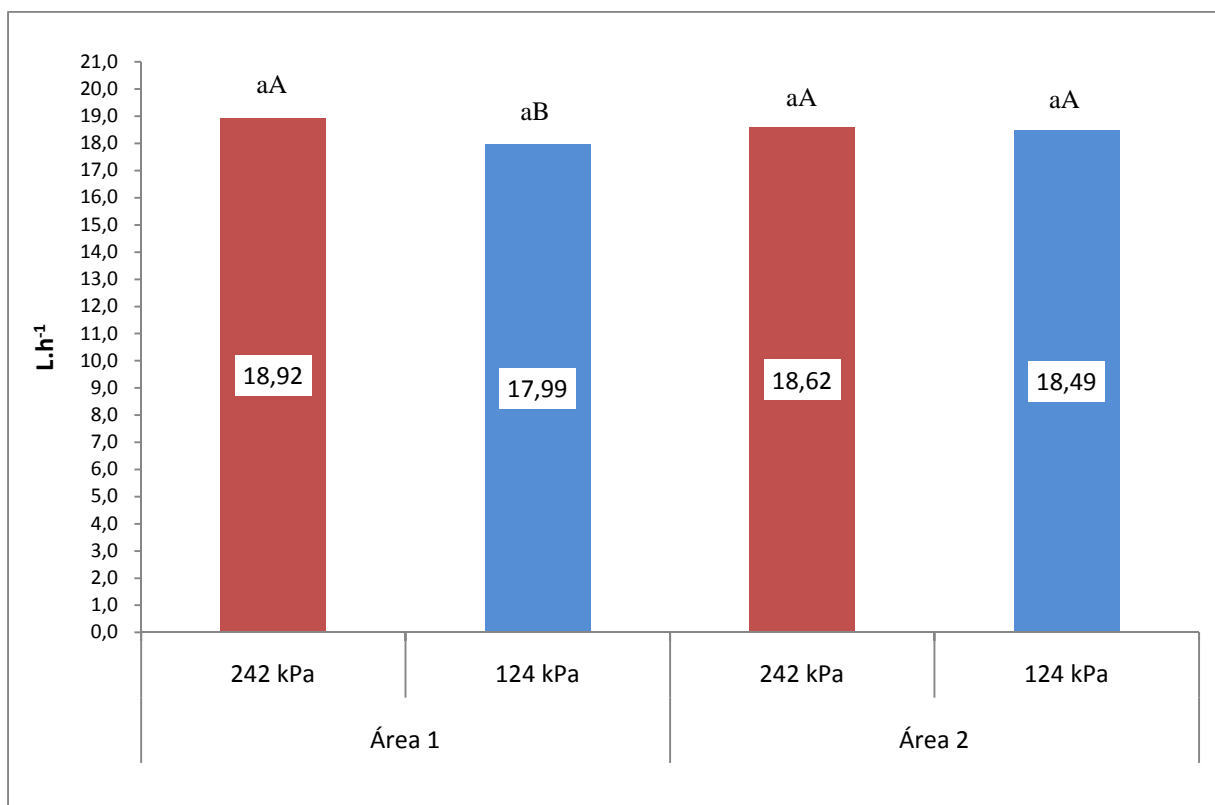


Figura 27. Médias de consumo de combustível para os tratamentos no Ensaio 2.

## **7 CONCLUSÃO**

O trator agrícola tracionando o arado duplo apresentou menor consumo horário de combustível no solo de textura franco arenosa.

Utilizando o equipamento canteirador o trator agrícola apresentou menor consumo horário de combustível utilizando a pressão de inflação de 124 kPa em solo de textura franco argilo arenosa.

Para ambos os tipos de textura de solo, o trator agrícola apresentou menor consumo horário de combustível utilizando a menor pressão de inflação nos pneus de 124 kPa.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNIASSI, U. R., FIGUEIREDO, Z. N., GADANHA JUNIOR, C. D. Avaliação de sensores de velocidade em função do tipo de superfície e direção de deslocamento do trator. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p.74-81, 2001.

ANTUNIASSI, U. R., BAIIO, F. H. R., SHARP, T. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: ABRAPA, 2007. 934 p.

ARCE, A. I. C. **Redes de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para aplicações na zootecnia de precisão**. 2008. 86p. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) –Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

BAIO, F.H.R., BALASTREIRE, L.A., TORRES, F., FILHO, A.C.R., Avaliação da acurácia de uma barra de luz utilizada na agricultura de precisão, em relação ao marcador de espuma. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.357-360, 2001.

BAIO, F.H.R., ANTUNIASSI, U.L. Direção certa: barra de luz. **Cultivar Máquinas**, Pelotas-RS, n.22, p.14-16, 2003.

BAIO, F.H.R., **Metodologia para ensaio de sistemas de direcionamento vai satélite em percursos retos e curvos**. 2005. 100p. Tese de Doutorado. FCA-UNESP de Botucatu, SP.

BARBOSA, J.A., VIEIRA, L.B., DIAS, G.P., DIAS JÚNIOR, M.S. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 474-480, 2005.

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.

BELTRÃO, N. E. de M., AZEVEDO, D. M. P., **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2 ed. revista e ampliada. Brasília-DF: Embrapa informação tecnológica, 2008. 309p.

BLITZKOW, D. NAVSTAR/GPS: Um desafio tornado realidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 3. São Paulo, 1995. **Anais...** São Paulo: USP, 1995. p.429-462.

BUAINAIN, A. M., BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva do algodão**: série agronegócios. 2 ed. Brasília: MAPA/SPA, 2007. 108p.

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.

CASTELLI, G., MAZZETTO, F. Automatic system for monitoring and recording farm field activities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 1996, Cancun, Mexico. **Anais...** Michigan: ASAE, American Society of Agricultural Engineering, 1996. p. 548-556.

CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p. (Série Técnica, 3).

CERRI, D. G. P. **Agricultura de precisão em cana-de-açúcar: instrumentação de uma colhedora, mapeamento da produtividade e de atributos do solo**. 2005. 91p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

CLARK, R.L., MCGUCKIN, R.L. Variable rate application technology: an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION FARMING, 3., 1996, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p.855-862.

CORÁ, J.E., MARQUES, J. Mecanização e Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1999, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. p. 31-70.

CORDEIRO M.A.L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. Botucatu, UNESP-FCA, 2000. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia - AC Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CORREA, I. M., YANAI, K., MOLINA JR., W. F., MAZIERO, J. V. G. Pneu radial de baixa pressão versus pneu diagonal: desempenho em operação agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 22-26, jun, 1997.

CORREA, I. M., YANAI, K., MAZIERO, J. V. G., LANCAS, K. P. Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 179-184, 1999

CORREA, I.M., LANÇAS, K.P. Desempenho operacional de pneus radiais de baixa pressão e pneus diagonais em trator 4x2 Aux. com a tração dianteira desligada. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 44-55, 2000.

CORREA, I. M., LANÇAS, K. P., MAZIERO, J. V. G., YANAI, K. Desempenho operacional de trator 4x2 (aux.) com pneus radiais de baixa pressão e diagonais com a tração dianteira desligada. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, X, 2000, Guanajuato, México. **Anales...** Guanajuato: ALIA, 2000. CD-ROM.

CULTIVA. Disponível na: <<http://www.cultiva.com>> Acesso em 03 fev 2010.

ELIAS, A.R. **Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global**. 1998. 75p. Dissertação de Mestrado. Piracicaba-SP.

EMBRAPA. *Cuidados básicos para o plantio mecanizado de soja em Rondônia*. Disponível na <<http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/infotec/soja.PDF>> Acesso em 2 Jan 2010.

FONSECA, I. M. **Sensores, transdutores e conectores**, 2009. Disponível na <[www2.dem.inpe.br/ijar/SenTrand3.pdf](http://www2.dem.inpe.br/ijar/SenTrand3.pdf)> Acesso em 10 Jan 2010.

FRANZ, C. A. B. **Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores agrícolas, com diferentes níveis de desgaste**. Santa Maria-RS, 1988. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, 1988.

GAMERO, C.A., BENEZ, S.H., FURLANI JUNIOR, J.A. Análise do consumo de combustível e da capacidade de campo de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p. 1-9.

GAMERO, C.A., LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB- FEALQ, 1996. p.463 -514.

GAMERO, C. A., SIQUEIRA, R. LEVIEN, R., SILVA, S. L. Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 26, 1997, Campina Grande-PB. Anais...; Universidade Federal da Paraíba, 1997.

GARCIA, R. F., QUEIROZ, D. M., MIYAGAKI, O. H., PINTO, F. A. C. Programa computacional para aquisição de dados para a avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 375-381, 2003.

GUERRA, S. P. S. **Desenvolvimento de um sistema informatizado de menor custo para aquisição e armazenamento de dados de sensores analógicos e receptor GPS**. 2006. 91p. Tese (Doutorado em e Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

GUIMARÃES, A. A., SARAIVA, A. M. As Aplicações Agrícolas e o Protocolo CAN: Uma Aplicação a um Monitor de Semeadora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 3., 2002. Foz do Iguaçu. **Anais... SBIAGRO**, 2002. p. 35-42.

HAN, S., NOH, H.K., ZHANG, Q., SHIN, B.S. Dynamic performance evolution of DGPS receivers for parallel tracking. St. Joseph: **ASAE**, 2002. 17p. (ASAE Paper, 23107)

HOROWITZ, P., HILL, W. **The Art of Electronics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 450 p.

JOHNSON, G.W. **LabVIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 665p.

KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

LANÇAS, K.P., SANTOS FILHO, G., UPADHYAYA, S.K. Implication of using low/correct inflation pressure for radial ply tractor tires. St. Joseph, **ASAE**, 1995. (Paper AETC 95-056).

LANÇAS, K. P. **Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas**. Botucatu. 1996. Tese (Livre Docente) – Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

LEE, D. R., KIM, K. U. Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. **Journal of Terramechanics**, nº 03, v. 34, p. 187 – 208, 1997.

LIBONATI, P. A. O., OLIVEIRA, A., CAMPOS, L. E. P. Sistema de aquisição de dados para laboratórios. **Metrologia Instrumentação**. Porto Alegre, v. 3, n. 26, p. 35-39, 2003.

LILJEDAHN, J.B., CARLETON, W.M., TURNQUIST, P.K., SMITH, D.W. Traction. In: \_\_\_\_\_. Traction and their power units. **Connecticut**: Avi Publish Compan y, n.2, 1995. p.219-26.

LOPES, A., LANÇAS, K.P., FURLANI, C.E.A., NAGAOKA, A.K., CASTRO NETO, P., GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

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

MANTOVANI, E. C., LEPLATOIS, M., INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p.1241-1246, 1999.

MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão e sua organização no Brasil. **Agricultura de Precisão**. Viçosa, MG – Brasil 2000. p.79-92.

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

MAZUCHOWSKI, J.Z., DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. 65 p., 1984.

MIALHE, L.G. **Máquinas Motoras na Agricultura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2. 1980. 366 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722p.

MOLIN, J. P. **Utilização de GPS em Agricultura de Precisão**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-132, 1998.

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. O sistema de posicionamento global (GPS): conceitos preliminares. In: \_\_. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2000. p. 19-57.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Unesp, 2008. 476p.

POTIER, M. Pnues: la pression baisse. Agri-Décideur, **Antony**, n. 26, p. 15-28, oct., 1990.

PRADO, A. **Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

PRADO, A., KRUEGER, C.P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 2003, v. 55, n. 1, p. 29-38.

RAGNI, L., SANTORO, G. Trattore sensibilizzato. **Macchine e Motori Agricoli**, v. 55, p. 39-45, 1997.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG : 3ª Ed. do autor, ver. e atual., 2007. 220p.

ROCHA, J. A. M. R. **Livro GPS – Uma abordagem prática**, Edições Bagaço, 3ª Edição, 2002, Recife-PE.

SANTOS, M.S.T, SOUZA, A.M., TEIXEIRA, W.L.E., SILVA, E.B.S, LIMA filho, F.P. O uso do Real Time Kinematic (GPS-RTK) no transporte de altitudes geométricas. XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 2007, **Anais**.

SCHLOSSER, J.F., LINARES, P., MARQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 34, n. 6, p. 1801-1805, 2004.

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

SILVA, S.L., BENEZ, S.H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na agricultura**. Botucatu, v.12, n.3, p.10-18, 1997.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 28, 1999. Pelotas – RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. 1CD – ROM.

SILVEIRA, G. M. Sistema informativo de operação em campo baseado na aquisição automática de dados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, 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.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. Botucatu, 1999. 191f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOLON, 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.

STORINO, M., PIROT, R., TISSEYRE, B., SEVILA, F. Performance du tracteur comme indicateur de l'état du sol en agriculture de précision: première approche 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 2009.

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

WERNER, V. **Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional**. 2007. 134p. Tese (Doutorado em Mecanização Agrícola) Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2007.

YANAI, K., SILVEIR A, G.M., LANÇAS, K.P., CORREA. I.M., MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.

## APÊNDICE 1

\*\*\*\*\*

```
'Author: John Heun
'Name: FuelMeter.CR3
'Date: 4-07-09
'Version: 1.0
'Notes: Used to measure fuel consumed
'with the FloScan Fuel Meter System.
'Measures pulses from the meter
'(1 pulse = 1mL) and fuel mass loss
'(consumed). Records GPS position.
```

\*\*\*\*\*

'Declare Variables and Units

Public pulse

Public latitude, longitude, latmin, longmin

Public qual, sats, hdop

Units pulse = mL : Units qual = quality

Units sats = sv

Units latitude = DDMM : Units hdop = hdop

Units longitude = DDDMM : Units longmin = .mmmmmmm

Units latmin = .mmmmmmm :

Dim dest As String \* 81 '81 characters/bytes

Dim SplitResult (19) 'Array sized to 19 for parsing

Dim compare

'Define Data Tables

DataTable(Table1,True,-1)

    DataInterval(0,2,Sec,10)

    CardOut(1,-1)

    Sample(1,pulse,FP2)

    Sample(1,latitude,Long)

'Record latitude degrees and whole minutes

    Sample(1,latmin,Long)

'Record latitude fractional minutes

    Sample(1,longitude,Long)

'Record longitude degrees and whole minutes

    Sample(1,longmin,Long)

'Record longitude fractional minutes

    Sample(1,qual,Long)

'Record satellite quality

    Sample(1,sats,Long)

'Record number of satellites

    Sample(1,hdop,FP2)

'Record HDOP value

EndTable

'Main Program

BeginProg

PulseCountReset() 'Initialize the logger's accumulator at zero

SerialOpen(ComRS232,9600,0,0,256) 'Establish com port

Scan(2,Sec,3,0)

'Read in GPS serial data

compare = 0

While compare = 0

'No progression until full string is received

SerialFlush(comRS232)

'Empty current info in the serial buffer

SerialIn(dest,comRS232,110,"\*",128)

'Wait up to 1.1 sec for data

compare = InStr(1,dest,"\$GPGGA",2)

'Checks for \$GPGGA in string

Wend

'Parse the data components out of the NMEA string - 19 pieces \$GPGGA

"The ","." allows 7 digit precision with decimal minutes

SplitStr(SplitResult(),dest,",",19,6)

latitude = SplitResult(3)

latmin = SplitResult(4)

longitude = SplitResult(6)

longmin = SplitResult(7)

qual = SplitResult(9)

sats = SplitResult(10)

hdop = SplitResult(11) & "." & SplitResult(12)

'Pulse measurement. Enter a multiplier later to eliminate remaining error.

PulseCount(pulse,1,1,2,0,1.0,0.0)

'Call Data Tables and Store Datab

CallTable(Table1)

NextScan

EndProg

## APÊNDICE 2

