

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

**AVALIAÇÃO DE UM ESCARIFICADOR EM FUNÇÃO DOS TIPOS  
DE HASTE E PROFUNDIDADES DE TRABALHO**

**GUSTAVO KIMURA MONTANHA**

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

BOTUCATU - SP

Novembro - 2013

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

**AVALIAÇÃO DE UM ESCARIFICADOR EM FUNÇÃO DOS TIPOS  
DE HASTE E PROFUNDIDADES DE TRABALHO**

**GUSTAVO KIMURA MONTANHA**

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Co-orientador: Prof. Dr. Kenshi Sakai

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

BOTUCATU - SP

Novembro - 2013

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 de um escarificador em função dos tipos de haste e profundidades de trabalho / Gustavo Kimura Montanha. - Botucatu : [s.n.], 2013  
ix, 116 f. : ils. color., grafs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013  
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra  
Coorientador: Kenshi Sakai  
Inclui bibliografia

1. Mecanização agrícola. 2. Informática agrícola. 3. Solos - Conservação. 4. Agricultura de precisão. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Sakai, Kenshi. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “AVALIAÇÃO DE ESCARIFICADOR EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE  
HASTE E PROFUNDIDADES DE TRABALHO”

ALUNO: GUSTAVO KIMURA MONTANHA

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora

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

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

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

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. FABRÍCIO LEITE

Data da Realização: 18 de novembro de 2013

**DEDICO E OFEREÇO**

Aos meus pais José Leonardo Montanha e Theresa Toshiko Kimura Montanha pelo constante incentivo e suporte e aos meus irmãos Julio César, Renato e José Bruno pelo apoio e amizade.

## AGRADECIMENTOS

Em especial aos professores Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra e Dr. Kléber Pereira Lanças pela orientação, compreensão, dedicação, sinceridade, amizade e ensinamentos ao longo dos anos de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Kenshi Sakai da *Tokyo University of Agriculture and Technology* e os alunos Tiejun Zhao, Yoshihiko Saito e Nina Sviridova pela orientação, confiança e paciência durante o período de pesquisa realizado no exterior.

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin, coordenador do programa de pós-graduação Energia na Agricultura, pelo apoio e crença na realização desse trabalho.

Aos professores Dr. Roberto Antonio Colenci, Dr. Celso Fernandes Joaquim Junior e Dr. Osmar Delmanto Junior pela compreensão, incentivo e amizade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial e do Departamento de Engenharia Rural que contribuíram de diversas maneiras no desenvolvimento do trabalho.

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

Aos amigos Fernando Henrique Campos, Fabrício Campos Masiero, Guilherme Oguri, Indiamara Marasca, Éder Aparecido Garcia, Gabriel Lyra, Marcelo Denadai, Emanuel R. Spadim e demais membros do grupo NEMPA - Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais.

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

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 RESUMO .....	01
2 SUMMARY .....	03
3 INTRODUÇÃO .....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	07
4.1 Mecanização agrícola .....	07
4.2 Mobilização do solo.....	12
4.3 Escarificação.....	16
4.4 Sistema eletrônico de aquisição de dados.....	20
4.5 Sistema global de navegação por satélite.....	23
4.6 Sensores e transdutores.....	27
4.7 Informática aplicada à agricultura .....	32
4.8 Dinâmica não-linear e função AREF.....	36
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	40
5.1 Material.....	40
5.1.1 Descrição da área de estudo .....	40
5.1.2 Caracterização do solo .....	41
5.1.3 Trator agrícola.....	42
5.1.4 Equipamento agrícola.....	43
5.1.5 Receptor GNSS .....	44
5.1.6 Sensores .....	45
5.1.7 Sistema eletrônico de aquisição de dados .....	47
5.1.8 Microcomputador .....	50
5.1.9 Haste.....	51
5.2 Métodos .....	53
5.2.1 Instalação dos sensores .....	53
5.2.2 Calibração dos sensores .....	54
5.2.3 Instalação do equipamento.....	55
5.2.4 Instalação do sistema de aquisição de dados e microcomputador .....	56
5.2.5 Delineamento experimental .....	58
5.2.6 Velocidade de deslocamento.....	59

5.2.7 Força horizontal, vertical e resultante .....	60
5.2.8 Análise de dados .....	62
6 RESULTADO E DISCUSSÃO .....	66
6.1 Instrumentação do trator agrícola .....	66
6.2 Calibração dos sensores .....	67
6.3 Velocidade de deslocamento .....	68
6.4 Solo.....	68
6.5 Força horizontal, vertical e resultante.....	70
6.6 Função AREF .....	74
7 CONCLUSÃO.....	87
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
9 APÊNDICE .....	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
01 Vista parcial da área experimental.....	41
02 Representação das parcelas de amostragem do solo.....	42
03 Trator agrícola ISEKI Sial Hunter 22.....	42
04 Equipamento agrícola <i>plowsoiler</i> .....	44
05 Receptor GNSS Hemisphere Smart Antenna.....	45
06 Extensômetro elétrico de resistência KFG-5-350-C1.....	46
07 Instalação dos extensômetros de resistência elétrica na haste.....	47
08 Sistema eletrônico de aquisição de dados DBU-120.....	48
09 Programa computacional DAS-100A.....	49
10 Sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A.....	50
11 Computador industrial Panasonic Toughbook 30.....	51
12 Haste com defletor metálico (A), defletor plástico (B) e sem defletor (C).....	52
13 Dimensões da haste com defletor.....	52
14 Dimensões da haste sem defletor.....	53
15 Extensômetros elétricos de resistência antes (A) e depois (B) do cola isolante.....	53
16 Sensor ch4 (A) e sensor ch5 (B) instalados no trator agrícola.....	54
17 Sistema de calibração dos sensores ch1, ch2 e ch3.....	55
18 Equipamento acoplado ao trator agrícola (A) e nível para regulagem (B).....	56
19 Instalação dos sistemas de aquisição de dados e microcomputador.....	56
20 Fluxo de aquisição de dados dos sensores da haste do equipamento.....	57
21 Instalação do sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A.....	57
22 Delineamento experimental.....	59
23 Determinação de forças no equipamento escarificador.....	60
24 Inserção dos dados brutos do programa computacional.....	63
25 Geração de resultados do programa computacional.....	64
26 Geração dos gráficos do programa computacional.....	65
27 Trator agrícola instrumentado para realização dos ensaios.....	66

28	Resultados de calibração dos sensores do equipamento escarificador .....	67
29	Valores médios seguidos do desvio padrão da resistência mecânica do solo à penetração.....	69
30	Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 15 cm.....	71
31	Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 25 cm.....	72
32	Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 35 cm.....	73
33	Gráfico dos dados temporais obtidos pelo sensor ch1.....	74
34	Gráfico da função AREF e os parâmetros $\alpha$ e $\beta$ .....	75
35	Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste com defletor plástico.....	75
36	Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste com defletor plástico.....	76
37	Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste sem defletor.....	76
38	Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste sem defletor.....	77
39	Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste com defletor metálico.....	77
40	Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste com defletor metálico.....	78
41	Gráfico dos dados temporais obtidos pelo sensor ch5.....	80
42	Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor metálico.....	81
43	Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste com defletor plástico.....	81
44	Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor plástico.....	82
45	Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste com defletor metálico.....	82
46	Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor metálico.....	83
47	Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste sem defletor.....	83
48	Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste sem defletor.....	84

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
01 Especificações do trator agrícola.....	43
02 Especificações do receptor GNSS .....	45
03 Especificações do extensômetro elétrico de resistência.....	46
04 Especificações do sistema eletrônico de aquisição de dados DBU-120.....	47
05 Especificações do sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A.....	49
06 Especificações do computador industrial.....	51
07 Descrição dos tratamentos.....	58
08 Valores médios de velocidade de deslocamento km.h <sup>-1</sup> .....	68
09 Valores médios e desvio padrão para umidade e densidade do solo.....	69
10 Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 15 cm.....	70
11 Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 25 cm.....	71
12 Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 35 cm.....	72
13 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 15 cm.....	79
14 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 25 cm.....	79
15 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 35 cm.....	80
16 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 15 cm.....	85
17 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 25 cm.....	85
18 Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 35 cm.....	86

## 1 RESUMO

Muitas operações agrícolas realizadas nas propriedades rurais apresentam algum tipo de atividade mecanizada em busca de melhores resultados de eficiência operacional e retorno econômico ao produtor rural. Essa intensificação de processos mecanizados no campo deve ser corretamente dimensionada, relacionando de forma eficiente o conjunto trator, ferramenta e solo. Pesquisas realizadas observaram muitas vezes a variabilidade espacial em operações de mobilização do solo, contudo, grande parte desses trabalhos concentrou-se na obtenção de resultados médios relacionando-os com algumas características e propriedades do solo. É possível que algumas dessas operações mecanizadas originem-se de uma condição não-linear da interação solo-ferramenta possibilitando a aplicação de análises de dados experimentais em séries temporais. Este trabalho teve como objetivo instrumentar e avaliar um trator agrícola de pequeno porte na mobilização do solo utilizando um equipamento escarificador, variando-se os tipos de haste e as profundidades de trabalho. Os ensaios foram realizados na *Tokyo University of Agriculture and Technology* na cidade de Tóquio, Japão. Foi utilizado um trator agrícola instrumentado de pequeno porte da marca ISEKI com 17,8 kW de potência no motor. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com um arranjo fatorial 3 x 3, com 3 repetições. Foram realizados ensaios com três diferentes tipos de haste (com defletor metálico, com defletor plástico e sem defletor) para três profundidades de trabalho (15, 25 e 35 cm). Realizou-se um primeiro teste estatístico com a análise de variância pelo teste F comparando-se as médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade quando necessário. Uma segunda análise foi realizada utilizando um programa computacional desenvolvido em linguagem VBA (*Visual Basic*

*for Applications*) para processar os dados temporais experimentais utilizando a função AREF (*autoregressive error distribution function*). Os resultados obtidos pela primeira análise de dados não apresentaram diferenças significativas nas forças de mobilização do solo utilizando o equipamento escarificador entre os diferentes tipos de haste para todas as profundidades de trabalho. A segunda análise de dados evidenciou padrões de linearidade nos resultados entre os diferentes métodos de coleta de dados (sensores instalados na haste do equipamento escarificador e sensores instalados no eixo do trator) para todos os tratamentos nos intervalos de  $\log \tau < -1,0$ . Analisando os parâmetros da função AREF, verificou-se que os resultados não apresentaram diferenças significativas entre os canais sensores ch1 e ch3, instalados na haste do equipamento escarificador, e os canais sensores ch4 e ch5, instalados no eixo do trator agrícola.

EVALUATION OF A CHISEL PLOW AS FUNCTION OF SHANK TYPE AND DEPTH WORK. Botucatu, 2013 116 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GUSTAVO KIMURA MONTANHA

Advisor: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Co-advisor: KENSHI SAKAI

## 2 SUMMARY

Many agricultural operations realized on farms have some type of mechanized activity in search of better operational efficiency and economic returns to the farmers. This intensification of mechanized processes in the field must be properly dimensioned, efficiently linking the setting agricultural tractor, tool and soil. Studies have recognized often the spatial variability in soil disturbance operations, however, many of these studies has focused on achieving average results relating them with some features and soil properties. It is possible that some of these operations originate from a nonlinear condition of the soil-tool interaction enabling the use of experimental analysis of time series data. This work had as objective to instrument and to evaluate a small agricultural tractor in soil disturbance operations utilizing chisel plow equipment over different shank types and depth work operations. The tests were conducted at the Tokyo University of Agriculture and Technology in Tokyo, Japan. It was used a instrumented small agricultural tractor developed by ISEKI with 17.8 kW engine power. The experimental design was the completely randomized blocks with a 3 x 3 factorial arrangement with 3 repetitions. Tests were performed with three different types of shank (metal deflector, plastic deflector and no deflector) over three working depths (15, 25 and 35 cm). The first statistical test was realized with the analysis of variance by F test and compared the means by Tukey test at 5% probability when required. A second analysis was performed utilizing a computer program developed with VBA (Visual Basic for Applications) language to process the experimental time series data using the AREF function (autoregressive error distribution function). The results obtained from the first data analysis showed no significant difference in soil disturbance forces using the chisel plow equipment between the different type of shanks for all working depths of 15, 25 and 35 cm. Analyzing the AREF function parameters, it was found that the results showed no significant differences between the

channel sensors ch1 and ch3 both installed at the chisel plow shank and the channel sensors ch4 and ch5 installed on the agricultural tractor axle.

---

Keywords: instrumentation, soil disturbance, applied informatics.

### 3 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a intensificação de atividades mecanizadas no campo proporcionou grandes avanços para a agricultura atual como melhor capacidade operacional e melhor retorno econômico para os produtores rurais. Todavia, esse cenário de intensa mecanização na agricultura, muitas vezes, tem desconsiderado fatores importantes em suas atividades como o correto uso e preservação dos recursos naturais e energéticos.

No final da década de 80 intensificaram-se pesquisas no desenvolvimento de ferramentas visando a modernização de processos e equipamentos agrícolas. Tecnologias como sensores, sistemas de navegação por satélite (GNSS), sistemas de informações geográficas (SIG) e sistemas eletrônicos de aquisição e processamento de dados foram introduzidas nas atividades de campo a fim de oferecer suporte necessário ao melhor entendimento e uso de processos mecanizados na agricultura.

Segundo Montanha (2010a) a crescente necessidade nos próximos anos em diminuir os custos e aumentar a produtividade nas propriedades rurais, levando-se em conta os elevados preços dos combustíveis, a diminuição de terras produtivas e a preservação do meio ambiente, tem aumentado o interesse em pesquisas científicas e no desenvolvimento de equipamentos nesta área.

Dentre as tecnologias utilizadas na agricultura atualmente, verifica-se que o uso de sistemas sensores, sistemas eletrônico de aquisição de dados e programas computacionais possibilitam a coleta e o processamento de um elevado volume de dados capazes de gerar informações importantes relacionadas aos parâmetros das máquinas e equipamentos agrícolas.

Essas informações podem oferecer suporte necessário aos produtores rurais na criação de estratégias e na tomada de decisão em busca de melhores resultados na relação dos fatores solo, ferramenta e da máquina agrícola.

A variabilidade espacial em operações de preparo do solo vem sendo reconhecida em diversos trabalhos, contudo, a maioria desses trabalhos se concentra na obtenção de resultados médios das propriedades físicas do solo. É possível que algumas operações mecanizadas de campo, como as forças de rompimento do solo, originem-se de uma condição não linear.

A teoria do caos é identificada como importante ferramenta para investigação e descrição de sistemas não lineares e complexos atualmente na agricultura, proporcionando inúmeras discussões e pesquisas na busca de novas alternativas para análise de dados experimentais em séries temporais.

A crescente evolução na capacidade de processamento dos microcomputadores e o surgimento de novas linguagens de programação possibilitaram a utilização e o desenvolvimento de programas computacionais capazes de realizar tais análises e colocar em prática conceitos que anteriormente eram inviabilizados pela falta de tecnologias da informação disponível.

Atualmente a informática aplicada à agricultura se tem apresentado como ferramenta essencial no gerenciamento das propriedades agrícolas na busca de melhores controles administrativos e operacionais objetivando principalmente a melhoria na qualidade de processos, aumento da produtividade e redução do impacto ambiental.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Mecanização agrícola**

A mecanização agrícola está relacionada ao uso de veículos automotores, como tratores e colhedoras, para realizar as atividades de preparo de solo, adubação, plantio, aplicação de defensivos e colheita da produção. Trata-se de um conjunto de tecnologias essencial para favorecer a eficiência e a qualidade nessas atividades, por permitir a redução no uso de recursos humanos e a padronização das tarefas e resultados. Além disso, a mecanização é uma plataforma necessária para a adoção da chamada agricultura de precisão, que envolve sistemas de geolocalização por satélite, direção de tratores por piloto automático e adubação adaptada para cada tipo de solo da propriedade (NOGUEIRA, 2012).

Segundo Cortes (2006) por meio da mecanização promove-se o crescimento econômico, mediante maior produtividade e ampliação da área cultivada, seja pela incorporação de novas terras ou pela possibilidade de realizar mais de uma semeadura por ano, numa mesma unidade de superfície. O uso de máquinas modernas e eficientes é um dos fatores mais importantes na produção de alimentos e matéria-prima para a indústria, as quais integradas num processo racional de uso com outros insumos e com tecnologias biológicas podem incrementar a produtividade sem causar maior impacto ao ambiente e sem produzir desemprego em zonas onde a mão de obra é abundante.

Nas últimas décadas observou-se uma intensificação de máquinas agrícolas no campo e uma evolução para modernização na agricultura mundial. O Brasil é um dos poucos países que ainda possuem capacidade de expandir sua produção agrícola, seja pelo do aumento da área plantada, ou pela maior produtividade nas culturas. A mecanização agrícola desempenha papel de extrema importância, se bem adotada, para competitividade do agronegócio brasileiro na eficiência de produção agrícola.

Para Milan (2004) a mecanização na agricultura brasileira representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo, chegando a ser o segundo fator de produção mais importante, sendo inferior apenas à posse da terra. Em termos de potencial para redução dos custos de produção, a mecanização pode ser considerada como o fator principal. Para se reduzirem os custos são necessárias à ampliação e a modernização da gestão dos sistemas mecanizados. A adoção de técnicas administrativas clássicas não atende mais às condições de sustentabilidade impostas pelo mercado. Essas técnicas têm como fundamento o dimensionamento do sistema mecanizado, os estudos dos tempos e movimentos e o planejamento e controle de custos e produtividade. Elas são eficazes em momentos de menor concorrência, mas desprovidas de visão sistêmica. A adequação do gerenciamento de sistemas mecanizados deve buscar, além de produtividade e custos, qualidade de operações agrícolas, motivação, segurança e saúde dos funcionários, preservação do ambiente e alinhamento estratégico.

Segundo Nogueira (2012) as condições necessárias para a expansão da mecanização podem ser classificadas em dois aspectos: tecnológicos e econômicos. Com relação à tecnologia, o potencial de aplicação refere-se às condições de topografia, sendo uma regra geral a dificuldade de operar em terrenos acidentados. Por outro lado, as características da planta e do produto a ser colhido também influenciam o desenvolvimento de veículos e dos implementos a serem utilizados no processo. O Brasil já apresentou grandes avanços na criação e adaptação de máquinas e implementos agrícolas, considerando-se as características distintas da agricultura tropical em relação àquela praticada nos países de clima temperado, onde foram desenvolvidos os equipamentos das corporações internacionais do setor. Com relação aos aspectos econômicos da mecanização, uma das principais questões a serem resolvidas é a qualidade das máquinas onde a aquisição por parte dos produtores representa uma imobilização de capital e a contratação de dívidas de longo prazo que reduzem o desempenho dos empreendimentos. Essa condição reduz o acesso a essa tecnologia para os produtores de menor porte.

Matos (2007) afirma que a utilização de máquinas agrícolas pode representar até 40% dos custos totais de produção, o que justifica a necessidade do seu planejamento, promovendo uma busca pela melhoria nos sistemas gerenciais por meio do aproveitamento dos recursos produtivos.

Segundo Seki (2007) o alto custo dos combustíveis e das máquinas agrícolas e a baixa remuneração do produtor exigem o uso de técnicas de gerenciamento dos serviços, principalmente aquelas ligadas às operações motomecanizadas, visando à minimização do consumo de energia.

O agricultor moderno tem por objetivo maximizar sua lucratividade sob os investimentos de sua propriedade, e desse modo, é fundamental que se conheçam os custos dos trabalhos efetuados pelas máquinas ou implementos agrícolas, seja ele trator, grade, arado, distribuidor de calcário, pulverizador, entre outros (SILVEIRA et al., 2005).

Para Swami (2005) uma das principais vantagens de um bom gerenciamento da mecanização agrícola em um sistema de produção é a redução da dependência de mão-de-obra, a redução de esforço físico requerido, o aumento da produtividade das culturas e a maior rentabilidade para o produtor.

A intensificação do uso da mecanização na agricultura vem exigindo novos investimentos em máquinas com maior potência e tecnologia incorporada para atender às diversas demandas das atividades agrícolas. Do ponto de vista da empresa, à medida que o número, o tamanho e a complexidade das máquinas aumentam, mais importante se torna o gerenciamento da rentabilidade do sistema (PIACENTINIL et al., 2012).

Segundo Schlosser e Debiasi (2001), a participação da mecanização na elevação do padrão tecnológico da agricultura brasileira colocou o agricultor em contato com diversos tipos de máquinas necessárias para desenvolver diversas operações agrícolas. Máquinas de altos níveis tecnológicos são atualmente produzidas para satisfazer agricultores e meio ambiente, onde realizam diferentes atividades rurais propiciando para o produtor uma geração de mais lucro sem atingir prejudicialmente ao meio ambiente.

O trator agrícola pode ser definido como principal fonte de potência nas propriedades agrícolas, contribuindo para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas de produção agrícola. Para Atarés (2001) o trator agrícola é a máquina básica na agricultura atual e é importante que o agricultor conheça suas

características para poder adaptá-lo a sua exploração, reduzir custos de produção, contribuir com o balanço energético e diminuir a emissão de elementos contaminantes, nocivos para o meio ambiente.

Schlosser et al. (2005) afirmam que os tratores mais leves, com relação peso/potência em torno dos  $35 \text{ kg.kW}^{-1}$ , são adequados à execução de operações mais leves e a maiores velocidades, tais como pulverização, transporte interno e externo à propriedade, entre outras. Já tratores com relação peso/potência em torno dos  $60 \text{ kg.kW}^{-1}$  são apropriados a operações de maior exigência de força de tração, desenvolvendo, portanto menores velocidades, tais como aração, escarificação, gradagem entre outras.

A seleção de um sistema trator/implemento envolve uma série de parâmetros. O principal parâmetro de seleção para aquisição de novos tratores é dado pela máxima potência requerida do motor. De maneira indireta, deve-se considerar o tipo, forma de trabalho e largura do implemento e as condições de solo sobre as quais o trator irá trabalhar. Relativo a operação, deve-se considerar a faixa de velocidade de trabalho desejada como critério de seleção, levando em conta os escalonamentos de marchas apresentados pelos modelos comerciais que atendam a potência máxima requerida do motor (MACMILLAN, 2002).

Segundo Masiero et al. (2012) a análise operacional de sistemas mecanizados visa desenvolver técnicas de previsão, planejamento, controle e coordenação das atividades, a fim de obter o máximo de rendimento útil de todos os recursos disponíveis, com o mínimo de dispêndio energético. Torna-se necessário, portanto, conhecer a força e, conseqüentemente, a potência disponível na barra de tração dos tratores agrícolas, uma vez que, a partir do conhecimento desta potência, podem-se dimensionar equipamentos adequados à sua capacidade.

Para Baio et al. (2004) a seleção de máquinas e implementos agrícolas é uma tarefa difícil, em que a escolha do equipamento mais adequado para propriedade agrícola é tida como uma das tarefas mais importantes no processo de produção.

Gabriel Filho et al. (2000) afirmam que a escolha da máquina agrícola para uma propriedade, independente de seu tamanho, deve ser realizada de forma racional, adequando-se ao programa de produção da mesma e às características econômicas do empreendimento e do mercado.

Segundo Milan (2004) é de vital importância a adequação dos sistemas mecanizados sabendo-se a princípio que um número de máquinas superdimensionadas acarretam em prejuízo devido ao custo fixo e que o sub-dimensionamento aumenta os riscos de perda.

A seleção das máquinas agrícolas deve ser feita de maneira que o dispêndio final por área em relação às máquinas deva ser o menor possível. Para máquinas pequenas ou de pequena capacidade operacional (relativo à área de trabalho), com um leve incremento no tamanho da máquina, pode reduzir grandemente o custo horário, embora incremente os custos fixos totais (EDWARDS; WILIAMS, 2007).

Macmillan (2002) cita que o critério ótimo de seleção de tratores agrícolas é aquele em que se consegue a máxima potência com boa economia de combustível ou pela eficiência de tração máxima. O primeiro caso trata da escolha de tratores com motores e sistemas de transmissão, que permitam potência máxima na barra de tração e pouco acima da requerida pelo implemento, como segurança às variações naturais de demanda da operação, o que corresponderia à operação com boa economia de combustível e bom aproveitamento da potência. O segundo caso consiste no fato de se buscar máxima eficiência em tração, porém, neste caso, a disponibilidade de potência, na barra de tração, não prevê variações naturais de demanda em que a potência final na barra de tração é pouco menor do que o caso anterior.

Taylor et al. (2002) afirmam que as informações acerca da capacidade operacional são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração, visando a sua otimização. A habilidade de uma máquina para desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em qualquer ambiente, é um critério importante que afeta decisões sobre o seu gerenciamento.

Segundo Nogueira (2012), a expansão da mecanização pode trazer alguns benefícios ao agronegócio brasileiro. O primeiro seria a redução dos custos de mão de obra aos produtores, além de reduzir a contratação temporária de trabalhadores, muitas vezes contratados em outras regiões, o que envolve custos de deslocamento e hospedagem. Por outro lado, a utilização mais intensiva de máquinas agrícolas promove uma necessidade de qualificação dos trabalhadores, gerando empregos de melhor qualidade em termos de remuneração e segurança.

Streck et al. (2004) afirmam ainda que o intenso tráfego de máquinas e tratores agrícolas no cenário da mecanização agrícola podem resultar em impactos ambientais com significativas alterações nas propriedades físicas do solo, sendo evidenciado o aumento da densidade e da resistência do solo à penetração.

#### **4.2 Mobilização do solo**

Sob o ponto de vista agrônomo, o solo constitui o substrato para qualquer atividade agrossilvipastoril e, dependendo do manejo ao qual é submetido, é passível de degradação ou melhoramento em sua capacidade produtiva. Esse recurso, inserido em um ecossistema, está sujeito às variações dos demais componentes, em especial clima, vegetação e sistema hídrico (BARUQUI; FERNANDES, 1985).

As operações agrícolas empregadas na implantação de uma cultura, desde o preparo do solo até a colheita, na sua maioria, podem ser mecanizadas e com isto, apresentar grande eficiência e retorno econômico ao produtor, uma vez que estas sejam bem conduzidas empregando para isto tecnologia e maquinário adequado (DUARTE JÚNIOR et al., 2008).

Rodrigues (2001) cita que diversos tipos de preparo do solo são estudados com o fim de verificar a manutenção da fertilidade, o controle da erosão, a redução do custo das operações e proporcionar maior renda ao agricultor, com manejo sustentado do solo.

O preparo do solo convencional pode ser dividido em duas etapas. A primeira, chamada de preparo primário, consiste na operação que visa romper o solo e pode ser utilizada também para incorporação de corretivos e fertilizantes ou para descompactação das camadas superficiais. A segunda etapa, chamada de preparo secundário, consiste na operação de destorroamento e de nivelamento da superfície do solo, realizada por grades leves. Se o objetivo do preparo do solo também é o controle de plantas daninhas, a última gradagem niveladora pode ser realizada imediatamente antes do plantio (ALVARENGA et al., 2010).

Para Montanha et al. (2012) o uso de máquinas e tratores agrícolas é requerido para a mobilização do solo e o consumo de combustível desses equipamentos engloba em um dos custos mais elevados nas operações agrícolas das propriedades rurais.

A quantidade de combustível consumido está diretamente ligada a fatores como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, número total de operações utilizadas e outros.

Segundo Calouro (2010) para escolher o tipo de equipamento necessário à mecanização de determinada operação é necessário conhecer a quantidade de trabalho, as condições em que vai ser realizado, o período de tempo para realização da operação e o rendimento estimado das máquinas. A relação trator-equipamento deve constituir um conjunto equilibrado e coerente, tendo em vista a realização da operação cultural nas melhores condições técnicas, em segurança, com respeito ao meio ambiente, maximizando o rendimento e minimizando os custos (consumo, desgastes, etc.).

Kichler et al. (2007) salientam que para selecionar de forma correta os sistemas de preparo periódico, deve-se levar em consideração a demanda energética e características do solo como a textura e umidade. Segundo o autor, maiores conhecimentos e domínios destas tecnologias, podem levar a redução dos custos de produção das culturas.

Segundo Garcia et al. (2006) é importante conhecer a capacidade da máquina, a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando-se, desta forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas, que são comuns em propriedades agrícolas.

Mclaughlin et al. (2008) afirmam que com uma seleção adequada do sistema de preparo do solo e correta adequação do trator e implemento, obtém-se redução na demanda energética de máquinas agrícolas.

Para Souza et al. (2004) o cultivo inadequado de operações pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos. Vieira e Klein (2007) citam que dentre os componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi nos seus atributos físicos do solo, pois atua diretamente na sua estrutura.

Guiboshi et al. (2006) descrevem que além de provocar dano ambiental, o revolvimento excessivo do solo reduz seu potencial produtivo, causa prejuízo econômico e compromete a viabilidade da cultura, principalmente pela redução da porosidade, da taxa de infiltração de água, e a quantidade de água disponível no solo.

O tráfego contínuo de equipamentos pesados e o preparo dos solos tem sido motivo de preocupação e traz a tona a necessidade de avaliar o comportamento da estrutura do solo, a fim de evitar os efeitos indesejáveis da compactação, que vem sendo considerado um fator determinante na obtenção da produtividade agrícola reduzida (CARDOSO et al., 2008).

Para Klein e Libardi (2000) o uso intenso de máquinas agrícolas pode provocar alterações nas propriedades físicas do solo, causando sua compactação. Em solos compactados, a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo à penetração das raízes, comumente, são limitantes ao desenvolvimento das plantas, mesmo havendo água disponível.

Segundo Rosa (2007) o entendimento da compactação é complexo, pois envolve distintas áreas do conhecimento das ciências agrárias, como a área da física, química, biologia e mecânica do solo. Dentre as propriedades físicas do solo, a densidade do solo e resistência à penetração média revelam-se como bons indicadores do seu nível de compactação.

Furlani et al. (2005) citam que a qualidade dos sistemas de manejo do solo também pode auxiliar ou prejudicar o desempenho das máquinas e implementos agrícolas tornando-se fundamental avaliar como essas máquinas trabalham em diferentes condições de solo.

Montanha et al. (2012) avaliaram o consumo de combustível de um trator agrícola em diferentes tipos de solo e pressões de inflação nos pneus utilizando o equipamento de mobilização de solo canteirador para a cultura do algodão irrigado em regiões semi-áridas do estado do Arizona, Estados Unidos e constataram que o trator agrícola apresentou melhores resultados de consumo horário de combustível utilizando a menor pressão de inflação de 124 kPa em solo de textura franco argilo arenoso.

Salvador et al. (2009) avaliaram a demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo realizado antes e depois da subsolagem, concluíram que o preparo do solo com escarificação obteve menor requerimento energético, quando realizado depois da subsolagem, entretanto, para os sistemas de preparo periódico do solo que utilizaram arado de discos e grades, apresentou melhor eficiência energética quando realizado antes da subsolagem pois os menores valores de consumo específico significaram a otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento à fonte de potência, de forma simultânea.

Gilles et al. (2009) constataram que os métodos de preparo do solo usados na implantação da cultura do milho influenciam o crescimento da cultura e as perdas pela erosão. A cultura cresceu mais no solo onde o preparo foi realizado por um escarificador, o qual também foi eficiente no controle da perda de água, de matéria orgânica e de nutrientes pela erosão, ficando a semeadura direta como a mais eficiente no controle da perda de solo.

Seki (2010) verificou que a demanda energética da subsolagem e escarificação em solo sob plantio direto é proporcional à profundidade de trabalho, sendo que quanto maior a profundidade de trabalho, maior será a demanda energética. Os efeitos da subsolagem e escarificação persistem após a colheita das culturas, mantendo a densidade do solo menor do que a densidade encontrada antes da realização da subsolagem ou da escarificação.

Mazetto et al. (2004) concluíram que o consumo horário de combustível e a patinagem do trator foram maiores onde a operação de semeadura foi realizada em sistema convencional e com escarificação, apresentando maiores exigências tratativas, uma vez que nestes manejos houve maior mobilização do solo quando comparado ao sistema de plantio direto.

Montanha et al. (2011) avaliaram o equipamento de mobilização do solo arado duplo em função da pressão de inflação dos pneus para solo franco argilo arenoso (52% areia, 35% argila, 13% silte) de regiões semiáridas do estado do Arizona, Estado Unidos, constataram melhores resultados de consumo horário de combustível para a menor pressão de inflação de 124 kPa nos pneus.

Carvalho Filho et al. (2007) concluíram que o preparo do solo com o escarificador atende à condição de manejo conservacionista por proporcionar agregados de maior tamanho e por manter elevada quantidade de resíduos na superfície do solo.

Avaliando o consumo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas, Fernandes et al. (2008) concluíram que os sistemas de preparo do solo, com menos operações por área, obtiveram menor consumo de combustível.

Para Furlani (2000) a escolha de um sistema de preparo é extremamente complexa, principalmente devido às variações dos tipos de solos, teores de água, coberturas vegetais sobre a superfície, culturas a serem implantadas, níveis tecnológicos, métodos de conservação, entre outras.

### 4.3 Escarificação

De acordo com Gamero (2008), a partir da necessidade de descompactação do solo, alguns agricultores ainda que esporadicamente, utilizam a mobilização do solo através de escarificadores e subsoladores visando corrigir essa limitação. A vantagem da utilização destes implementos comparados ao uso do arado ou grade está no fato destes não promoverem uma inversão de camadas, obtendo-se com isto, menor alteração da estrutura do solo.

Para a operação de descompactação do solo, escarificadores e subsoladores são os implementos mais usados, devido à maior capacidade de penetração e menor desagregação do solo, em relação aos arados e grades de discos (ARAÚJO et al., 2001).

Segundo Machado et al. (1996) o manejo do solo com escarificação é realizado com a mobilização subsuperficial do solo a uma profundidade máxima de 30 cm e não provoca a mobilização lateral e inversão do solo resultando em menor desagregação, mantendo os resíduos vegetais na superfície do terreno, reduzindo a erosão e proporcionando melhor infiltração, retenção de água, estrutura e a porosidade do solo.

Lanças (2002) afirma que o escarificador é um implemento, cuja a função é promover a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima, realizando mobilização até a profundidade de 35 cm. É semelhante a um subsolador, porém trabalhando em profundidades menores e com espaçamento entre hastes também menor.

Considerado um manejo conservacionista, os escarificadores são equipamentos preferencialmente indicados para a descompactação mecânica, devido a formação de fissuras com mínima mobilização do solo, mantendo grande parte da cobertura morta e com pequeno impacto nos teores de matéria orgânica (TORRES et al., 1998), além de proporcionar alta rugosidade da superfície do terreno (SECCO; REINERT, 1997), reduzindo o escoamento superficial.

Viana et al., (2008) salientam que a utilização da escarificação é de grande eficiência na descompactação do solo e, para tanto, deve ser empregado quando o solo apresenta-se dentro da faixa de friabilidade para que não haja formação de grande quantidade de torrões.

Em relação ao rompimento do solo, Lanças (2002) cita que as hastes dos escarificadores mobilizam o solo em propagação tridimensional (para frente, para os lados e para cima) das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem e sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais através das interfaces dos seus agregados.

Rosa (2009) demonstrou que o solo escarificado por dois anos apresentou boas condições estruturais para o desenvolvimento das culturas, pois apresentou menor densidade na linha de tráfego e maior porosidade total.

Girardello (2010) trabalhando com escarificador a taxa variável através de mapas das camadas compactadas concluiu que em zonas de baixa produtividade houve aumento da produtividade de soja comparada com escarificação fixa.

Sabe-se, contudo, que as operações com escarificadores demandam elevado consumo energético e a utilização de tratores de alta potência. Segundo Kochhann et al. (2000) estima-se que para cada haste do escarificador sejam necessários em torno de 25 HP, constituindo uma operação onerosa com alto gasto de energia, consumindo em torno de 20 L.ha<sup>-1</sup> de combustível.

Segundo Siqueira e Casão Júnior (2004) os escarificadores possuem hastes, também denominadas de facas ou facões, que são ferramentas planas com superfícies de formas variadas (reta, inclinada ou parabólica) possuindo em suas extremidades ponteadas cuja função é cortar e penetrar o solo, abrindo o sulco.

Algumas variáveis como a configuração da haste, o tipo e o tamanho da ponteira, a textura e o teor de água do solo, a potência e o tipo de tração do trator podem afetar diretamente o desempenho operacional dos subsoladores e escarificadores (GAMERO; LANÇAS, 1996; LANÇAS, 1988; McKYES, 1985).

Araújo et al. (2001) afirmam que dentre as diversas características dos subsoladores e escarificadores, que devem ser consideradas para sua correta utilização, está a configuração das hastes. Na interação solo-ferramenta as variações geométricas da ferramenta que estão associadas a outros fatores externos, tais como: a velocidade de deslocamento da máquina, a profundidade de trabalho da ferramenta e as condições do solo, resultando em diferentes necessidades de esforço de tração e em diferentes reações do solo.

Levando-se em consideração os tipos e as formas das ponteiros de escarificadores e subsoladores Lanças (1987) trabalhando com formas geométricas de hastes de ponteiros e velocidades de deslocamento no subsolador, concluiu que: as ponteiros aladas mostraram melhor conversão energética em relação as sem asas, apresentando menor consumo específico operacional, apesar de requerer maiores valores de força de tração, potência na barra e quantidade de combustível; as ponteiros aladas apresentam maiores elevações do solo, mesmo operando com profundidades de trabalho menores que as ponteiros sem asas; a força de tração cresceu com o aumento da velocidade, independente do tipo de haste e de ponteiro, a haste parabólica foi a que apresentou melhor desempenho. Avaliando os tipos de ponteiros e velocidades de deslocamento, observou que a haste parabólica apresentou o menor consumo específico e que variação da velocidade de deslocamento, não alterou a profundidade, largura de trabalho e a área mobilizada do solo.

A operação de subsolagem/escarificação requer alto consumo energético. A diminuição da profundidade ou não realização da subsolagem diminui significativamente os custos de preparo, porém o prejuízo devido à queda de produtividade pode ser maior do que os gastos com combustível, caso não seja feita uma subsolagem adequada (LANÇAS, 1988).

Siqueira et al. (2001) verificaram que a força de tração requerida varia muito entre os modelos de hastes. Comparando 13 modelos comerciais trabalhando a mesma profundidade, os autores encontraram variações de até 60%. Esta variação é função principalmente do projeto da haste, do ângulo de ataque da ponteiro, do formato da haste e da largura da ponteiro. Hastes com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura média da ponteiro de 22 mm, proporcionaram redução de aproximadamente 50% na potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora de plantio direto equipada com nove unidades de semeadura.

Machado (2013) afirma que usando hastes instrumentadas para fazer a leitura da resistência do solo através das células de carga com posição georreferenciada por GPS é possível determinar e intervir em tempo real com acurácia nas camadas compactadas, com isto, realizar a escarificação em profundidades variáveis em locais em que a compactação possa interferir na produtividade, evitando o desgaste prematuro dos equipamentos, consumo excessivo de combustível e vantagens no aumento da capacidade operacional e na diminuição do tempo gasto na operação, racionalizando

assim os custos. O mesmo autor desenvolveu e avaliou um protótipo de hastes instrumentadas, capazes de fazer a leitura de resistência do solo, em três diferentes camadas, em tempo real, comandando o escarificador a descompactar o solo quando necessário, bem como coletar informações para o mapeamento das camadas para fins gerenciais. As hastes realizaram as leituras de resistência mecânica do solo semelhantes ao penetrômetro, tendo uma correlação aceitável com  $R^2 = 0,79$ .

Adamchuk e Molin (2006) através de três hastes instrumentadas, acopladas a uma barra porta ferramenta montada no engate de três pontos do trator, com um receptor de GPS e um sistema de aquisição de dados no qual gera mapas de resistência mecânica do solo ao longo do deslocamento de uma haste em três profundidades, verificaram que o sistema mostrou ser mecanicamente simples e confiável. Os testes em campo demonstraram que o sistema podia produzir mapas que denotavam a variabilidade espacial da referida resistência nas áreas amostradas, com alta resolução, densidade de amostragem elevada e com capacidade operacional ainda mais elevada se comparada com levantamentos feitos com métodos convencionais.

Adamchuk et al. (2006) avaliaram duas hastes com função de mapeamento da resistência do solo, sendo: a primeira uma haste instrumentada com *strain gage* e a segunda uma haste instrumentada com 5 células de carga. Os resultados de campo demonstraram que os dois sistemas apresentam uma baixa correlação com penetrômetro de cone, indicando mais estudos que deveriam ser realizados para melhoria dos equipamentos.

Glancey et al. (1989) projetaram um escarificador instrumentado para medir a resistência mecânica do solo em diferentes profundidades no campo. Seu projeto incluiu seis extensômetros elétricos de resistência montados diretamente atrás da borda cortante frontal e outros seis na parte traseira da haste, na mesma profundidade que os extensômetros frontais. Um sensor adicional foi instalado para medir as forças verticais que agem no escarificador.

Similarmente, Adamchuk et al. (2001) usaram uma haste lisa vertical com extensômetros elétricos de resistência dispostos em diferentes níveis na parte traseira da haste para verificar os efeitos de resistência mecânica nas operações de escarificação.

Andrade et al. (2001) usaram uma haste equipada com células de carga para medir a resistência mecânica do solo a uma profundidade de 60 cm em incrementos de 7,5 cm e, para tanto, utilizaram uma célula de carga separada para cada profundidade.

Sakai et al. (1993) investigaram a performance de um escarificador/subsolador de quatro hastes em termos de força de tração, demanda de potência e ergonomia. Eles relataram que acelerações verticais do movimento foram predominantes e causadas pela flutuação de forças de rompimento do solo na oscilação da frequência, constatando que as maiores amplitudes e menores frequências foram vantajosas para a redução na força de tração e menor demanda de potência.

Segundo ainda os autores, a força exercida no rompimento do solo sempre foi área de interesse para desenvolvedores de ferramentas agrícolas bem como os produtores rurais uma vez que afete diretamente nas necessidades de demanda energética em operações de preparo de solo, no tamanho da unidade de potência necessária para realizar as tarefas, e na eficiência operacional.

#### **4.4 Sistema eletrônico de aquisição de dados**

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).

Mantovani et al. (1998) denotam que nos Estados Unidos e na Europa pode-se notar uma intensa modificação no meio rural, fruto do uso de tecnologias, 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.

Para Braga (2008) a aquisição de dados significa obter informação de algum processo físico através da medição de suas grandezas, que serão digitalizadas de forma a permitir a aplicação de algum tipo de processamento matemático que irá torná-lo compatível, para fim de comparação, com grandezas padronizadas. Após isso será analisado e armazenado. Todo sistema apresentará alguns blocos, ou funções, básicas: sensores, condicionamento de sinal, conversão analógico-digital e processamento.

O autor afirma ainda que diversas áreas utilizam a aquisição eletrônica 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) afirmam que em todo tipo de tecnologia e ciência, a aquisição de dados é uma atividade essencial onde o sistema de aquisição de dados tem a finalidade de apresentar ao observador os valores das variáveis mensuradas.

Segundo Strickland et al. (2001), no passado, os estudos de desempenho de máquinas a campo eram realizados utilizando-se de cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação, que consumiam muito tempo e necessitavam de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos. O advento dos monitores de colheita para fins de obtenção de mapas de produtividade tornou a coleta de dados para essa operação mais simples, utilizando um receptor de GPS (*Global Positioning System*) conectado a um computador instalado na cabine da colhedora e sensores que medem o fluxo e a umidade dos grãos colhidos, definindo a produtividade na área de forma georreferenciada.

O uso de sistemas computadorizados nas soluções de problemas de medição representa uma forte tendência. Sendo que estes sistemas computadorizados eram tradicionalmente empregados em aulas e possuíam aplicações restritas as atividades de laboratório. Contudo em aplicações industriais e grandes projetos de medição as soluções mais utilizadas são o uso de sistemas de aquisição de dados gerenciados por computador (RODRIGUES, 2001).

Guerra (2006) cita que a grande tendência da introdução do uso da eletrônica e informática no meio rural tornou-se um fato que iniciou uma grande modificação nas propriedades agrícolas onde muitos sistemas de aquisição de dados foram e ainda estão sendo desenvolvidos para cada área específica com a finalidade de obter cada vez mais eficácia na coleta de dados.

Santos e Lanças (1999) desenvolveram um penetrógrafo hidráulico-eletrônico com a aquisição automática de dados, utilizando um sistema *MicroLogger 21 X* para a recepção das informações da célula de carga e do potenciômetro e constataram diferenças significativas entre os dados obtidos pelos diferentes sistemas.

Montanha (2010b) desenvolveu algoritmos em linguagem de programação *CRBasic* utilizando um sistema eletrônico de aquisição de dados modelo PC400 1.5 da fabricante *Campbell Scientific* para auxiliar no processamento de dados coletados por sensores instrumentados em tratores agrícolas.

Monteiro (2011) utilizou um controlador lógico programável (CLP) com interface homem-máquina incorporado (IHM) para aquisição dos dados de força de tração instantânea e integrada, de rotação das quatro rodas do trator e da roda odométrica, do consumo e temperatura do combustível, permitindo a leitura e o armazenamento dos sinais enviados pelos sensores instalados nos rodados e no sistema de alimentação do trator e na roda odométrica instalados na UMEB (Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração), pertencente ao Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA - UNESP, Botucatu.

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 e rotação do motor. 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) utilizaram 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.

Al-Janobi (2000) desenvolveu um sistema de aquisição de dados para mensurar a força requerida e a profundidade de trabalho de implementos montados no sistema de três pontos do trator. Sendo estes dados gerados através de transdutores de força e sensores de profundidade.

Junior et al. (2006) construíram uma placa de aquisição de sinais para condicionar e converter os sinais analógicos provenientes de sensores eletrônicos em sinais digitais visando a modernização da coleta de dados de uma máquina de ensaio de tração e compressão. Através da modernização realizada na máquina foi possível obter documentos eletrônicos com os dados dos ensaios gerados através de um programa computacional que processa as informações, tornando-as acessíveis aos usuários, além de coletar e exibir os resultados em tempo real.

Guerra (2006) afirma que a aquisição eletrônica de dados dispõe da utilização de microcomputadores que podem proporcionar o processamento dos dados coletados em tempo real. Porém, os sinais obtidos através dos sensores, são analógicos e não podem ser interpretados diretamente pelos microcomputadores. Para a leitura destes dados primeiramente eles são convertidos de sinais analógicos para sinais digitais, após isso se deve desenvolver um aplicativo para a leitura destes dados no microcomputador.

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 conseqüentemente mais barato, pois adicionalmente, há um ganho em produtividade por se ter um sistema adequado às necessidades e mais simples de operar (LIBONATI et al., 2003).

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. Silveira (2001) afirma que a escolha dos sensores é parte fundamental da definição de um sistema de aquisição de dados porque será diretamente responsável pela sua eficiência e precisão.

#### **4.5 Sistema global de navegação por satélite**

Os sistemas de navegação global por satélite (GNSS) têm grande importância, uma vez que são aplicados nas mais diversas situações em que é necessário conhecer, com precisão e segurança, a velocidade e posição em coordenadas geográficas (altitude, latitude e longitude) de um utilizador, quer este se encontre situado na superfície da Terra ou próximo desta. Estes sistemas possuem as mais diversas aplicações e no setor do agronegócio é ferramenta essencial para aplicação da agricultura de precisão.

Atualmente o sistema global de navegação por satélite totalmente funcional é o sistema americano Navstar-GPS ou apenas GPS, desenvolvido pelo departamento de defesa americano e declarado totalmente operacional em 1995. Outros sistemas GNSS como o sistema russo Glonass, similar ao sistema americano, concebido no início da década de 70 pela antiga URSS, atualmente não se encontra totalmente operacional pela não atualização e lançamento de novos satélites. Existem ainda outros sistemas GNSS em fase de desenvolvimento, como é o caso do sistema europeu Galileo e o sistema chinês Beidou-Compass (MONICO, 2008).

Em função da sua disponibilidade, o Navstar-GPS tem sido o mais utilizado e passou a representar uma ferramenta com contribuições inovadoras na agricultura. São utilizados em atividades que demandam posicionamento com distintos níveis de acurácia para diferentes aplicações associadas às investigações georreferenciadas e intervenções localizadas, as quais visam ao máximo aproveitamento dos recursos e insumos e minimização de efeitos indesejáveis ao ambiente dando sustentação às técnicas conhecidas como Agricultura de Precisão (MOTOMIYA et al., 2009).

De acordo com Monico (2008) o objetivo do sistema é 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.

A determinação da posição no sistema Navstar-GPS baseia-se na medição da distância entre o aparelho receptor e os satélites no espaço onde 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-se as coordenadas do satélite num sistema de referência adequado, é possível 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. 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 (ROCHA, 2002).

Segundo Monico (2000) o Navstar-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 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).

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) outra tecnologia de correção diferencial em tempo real é a *Wide Area Augmentation System* (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.

A técnica RTK 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).

Segundo Krueger (1996) 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.

Monico (2008) afirma ainda que 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.

Atualmente o sistema GPS é também intensamente utilizado na agricultura como recurso de direcionamento de tratores e veículos agrícolas (BERGTOLD et al., 2009; SILVA et al., 2011), aviões agrícolas (SMITH; THOMSON, 2005), como sensor de velocidade em veículos agrícolas (MOLIN et al., 2005), no monitoramento de transporte e logística da produção agrícola (DEVLIN et al., 2007), na automação como em robôs agrícolas (NØRREMARK et al., 2008), dentre outros.

#### 4.6 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 proporcionando um melhor rendimento energético e menor desgaste das máquinas agrícolas.

Segundo Serrano (2007), um sistema de medição de parâmetros físicos do desempenho de tratores agrícolas, depende fundamentalmente dos tipos de sensores que o constitui. Os sistemas mais habituais, de concepção relativamente simples e normalmente de custo reduzido, desenvolvidos à fácil adaptação em qualquer trator nas diversas condições de trabalho, têm como sensores: um radar, uma célula de carga, um medidor de fluxo e sensores magnéticos de proximidade.

O desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica através da instalação de sensores conectados a um sistema de aquisição fornece dados referentes ao desempenho do trator durante as operações, tendo-se assim dados suficientes para caracterizar o desempenho desta máquina (RUSSINI, 2009).

Para Ragni e Santoro (1997) a metrologia aplicada está 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.

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.

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.

Os 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 (FONSECA, 2009).

O autor cita ainda como 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).

A medição de força mecânica por extensometria de resistência elétrica baseia-se na aplicação de um elemento transdutor, chamado extensômetro (*strain gage*), que é sensível à deformação produzida sobre um corpo elástico devido à força a ser

medida. Um extensômetro é um transdutor resistivo, mecanicamente deformável, cuja resistência elétrica varia com seu grau de deformação. A medida da variação da resistência elétrica do extensômetro, utilizando um circuito elétrico, permite estimar o seu grau de deformação e a força aplicada sobre ele (HOFFMANN, 1989; ELBESTAWI, 1999; MORRIS, 2001).

Em um sistema que visa medições de força, aplica-se a força a ser medida sobre o corpo de prova, cujo extensômetro encontra-se colado. A força aplicada produz uma deformação nesse corpo, a qual é transmitida à base do extensômetro e, em seguida, à fita metálica, que é o elemento ativo. O tipo de medida primária que é obtida utilizando um extensômetro é a deformação. A partir dessa medida primária, é possível obter-se medidas indiretas de outras propriedades que possam estar relacionadas à deformação, como força, pressão, torque e aceleração (GUADAGNINI, 2011).

Mantovani et al. (1999) salientam que 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.

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 decisão nas propriedades rurais.

Montanha et al. (2012) utilizaram sensores de fluxo de combustível da fabricante *Floscan Instrument Inc.*, instalados em série e auxiliados por três reguladores de fluxo para mensurar o consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação dos pneus para a cultura do algodão irrigado. Para a calibração do sistema de consumo foi utilizado um tanque auxiliar suspenso por uma célula de carga.

Furlani et al. (2005) para a avaliação de uma semeadora-adubadora utilizaram uma célula de carga que foi colocada entre a barra de tração do trator e o cabeçalho da semeadora-adubadora para a determinação da força de tração na barra, e para a determinação da rotação do motor de maneira indireta, foi instalado um sensor de rotação na tomada de potência do trator.

Fioresi et al. (2012) utilizaram um medidor de fluxo da marca OVAL, modelo M-III LSF41L0-M2, alimentado por corrente contínua (12-24V) interligado a um registrador de dados (datalogger), marca Campbell Scientific, modelo CR1000, acoplado a um computador portátil e um dinamômetro de correntes parasitas (correntes de Foucault), modelo NL 480 da fabricante MWD para determinar o desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel.

Way et al. (1995) instalaram transdutores de estado de tensão em dois tipos diferentes de solos agrícolas com finalidade de avaliar o comportamento do estado de tensões imposta aos solos, como função da altura das garras de um rodado pneumático de uso agrícola. Três transdutores de estado de tensão foram instalados em diferentes profundidades, para medir as tensões abaixo do rodado.

Molin e Menegatti (2002) desenvolveram um sensor de resistência elétrica do solo, utilizando os discos de corte de uma semeadora para semeadura direta como sensores.

Inamasu et al. (2006) testaram um sensor ativo de refletância em cana-de-açúcar com a finalidade de medir teores de potássio e nitrogênio. O sensor não foi capaz de detectar a diferença de potássio, contudo apresentou diferença de comportamento de acordo com o tratamento de nitrogênio, sugerindo a possibilidade de sua aplicação na detecção de deficiência de nitrogênio.

Garcia et al. (2003) utilizaram na sua pesquisa os seguintes sensores: célula de carga, com capacidade de 45 kN; torquímetro, com capacidade de 1130 mN e 6000 RPM; sensor tipo indutivo; e sensor de velocidade. Foi utilizado, ainda, um computador portátil para aquisição, processamento e armazenamento de dados. Sendo o objetivo do trabalho o desenvolvimento de um programa computacional para a aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas.

Sumali et al. (2000) projetaram e testaram uma lâmina de aço, atuando no solo de forma vertical. Sensores *strain gages* foram montados na parte posterior da lâmina, registrando as deformações durante seu deslocamento. Para validar a relação sinal de saída versus tensão aplicada ao sensor obtida em laboratório, foi montado um experimento em solo franco argilo siltoso não trabalhado. Quatro passadas de dez metros foram realizadas, com a lâmina de aço deslocando-se a velocidade de  $1 \text{ km.h}^{-1}$ , assim como leituras de resistência à penetração.

Manor e Clark (2001) instrumentaram uma haste com extensômetros elétricos de resistência (*strain gages*) e um potenciômetro, projetados para mover para cima e para baixo continuamente ao ser puxado através do solo. Esse sistema foi desenvolvido para detectar a profundidade da camada de impedimento do solo.

Raper et al. (1999) criaram uma sonda de múltiplos penetrômetros de cone montada na parte traseira de um trator para automatizar o processo de amostragem e permitir o cálculo da média de cinco medidas simultâneas.

Alihamsyah et al. (1990) utilizaram um penetrômetro de cone para medir horizontalmente a resistência mecânica do solo em tempo real, que aumentou significativamente a densidade espacial da medida. Seu sistema utilizou uma haste com uma ponta cônica ligada a uma célula de carga.

Glancey et al. (1996) e Ehrhardt et al. (2001) utilizaram a força de tração de um implemento como indicador da resistência mecânica do solo, nesse caso, mensurada com as hastes do implemento rompendo o solo no sentido horizontal.

Sirjacobs et al. (2002) usaram um anel transdutor octogonal numa barra porta-ferramenta montada para medir forças horizontais e verticais, assim como o momento torçor produzido pela haste quando puxada através do solo.

Cepik (2002) na análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, como forma de coletar os dados a campo e determinar a força de tração na haste, utilizou quatro extensômetros elétricos de resistência instalados no suporte da haste, de tal forma a medir a sua deformação quando em operação de campo. Os extensômetros foram ligados em Pontes de Wheaststone e conectados ao sistema de aquisição dos dados, permitindo a conversão dos valores de tensão em esforços atuantes na haste.

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).

Segundo Campos (2009) os dados obtidos através de equipamentos eletrônicos como, por exemplo, os sensores, devem ser processados para se transformarem em informações úteis, gerando atividades que justificam a utilização da informática na agricultura: sua capacidade de manipular um grande número de dados e efetuar cálculos

com grande rapidez. Nesse contexto a utilização de um microcomputador com um programa computacional específico para aquisição de dados contribui de maneira importante com pesquisadores e produtores.

#### **4.7 Informática aplicada à agricultura**

De acordo com Machado et al. (2002), a gestão da informática se destacou como uma ferramenta indispensável na gerência dos processos administrativos, em que tomadas de decisão, rápidas e seguras, representam condição básica para o sucesso das atividades. Com o rápido desenvolvimento da informática, associados às sensíveis reduções de custos de seus produtos e serviços aumentaram a possibilidade dos computadores ajudarem o empreendedor rural na organização, por meio do armazenamento e processamento das informações. No período de introdução da informática nos empreendimentos rurais, a maior barreira ao crescimento dessa tecnologia estava na falta de programas e soluções específicas.

Mendonça (1995) afirma que até a década de 70, pouco se falava de informática na agropecuária fora dos centros de pesquisa. No início dos anos 80, a informática avançou no setor agropecuário brasileiro, deixando de ser exclusividade dos centros de pesquisa e ensino, em consequência da expansão da microinformática e da redução dos preços dos produtos.

Para Zambalde et al. (1995) a adoção da informática nos empreendimentos rurais implica em mudanças na gestão da produção e na organização do trabalho, para os autores é indiscutível a importância do uso do computador como mecanismo auxiliar no processo decisório, mas as informações obtidas precisam ser acompanhadas de treinamento para seu aperfeiçoamento dentro da realidade de cada produtor.

Segundo Montanha et al. (2009) a adoção da informática no cenário agrícola tem papel fundamental para a agricultura de precisão onde o desenvolvimento e aplicação de programas computacionais podem realizar o processamento e gerenciamento de grande quantidade de dados, diminuindo assim, a repetitividade de tarefas e erros de digitação por parte dos usuários. O uso de programas computacionais no processamento de dados na agricultura de precisão pode também

propiciar maior confiabilidade e integridade das informações para a tomada de decisão do produtor rural.

Os relatórios do gabinete de avaliação tecnológica do Congresso dos EUA conhecidos como OTA (1986) e OTA (1992), *Office of Technology Assessment*, classificaram as novas tecnologias da informação aplicadas à agricultura em três grandes grupos: tecnologias de gerenciamento de informações; tecnologias de controle e monitoramento e tecnologias de telecomunicações. O primeiro grupo consiste basicamente no sistema computacional com objetivo de coleta, armazenamento, tratamento e distribuição de informações. O segundo grupo é utilizado no gerenciamento automático do processo produtivo animal e vegetal. Os sensores ocupam papel relevante nestas aplicações. O terceiro grupo de tecnologias de comunicações dizem respeito às redes de transmissão de dados e à troca de informações utilizando dispositivos eletrônicos específicos, tais como o telefone, internet, rádio-comunicação, satélites, entre outros (JESUS; ZAMBALDE, 1999).

Da mesma forma que a utilização dos sistemas de informação têm se disseminado nas propriedades agrícolas, sua aplicabilidade também tem se diversificado abrangendo inúmeras atividades agrícolas que podem ser geridas pelo agricultor. A maioria das aplicações disponíveis enquadra-se no grupo dos sistemas de informação de produção e pode-se encontrar desde soluções de gestão de atividades específicas, como a gestão de bovinos, suínos, etc., passando pela gestão do parque de máquinas, até se chegar à gestão global da propriedade (NETO et al., 2005).

Atualmente o setor agrícola tem recebido grandes benefícios com o uso da computação e de tecnologias de comunicação, como exemplo pode-se citar aplicações agrícolas que incorporam em programas computacionais: posicionamento global para o mapeamento de áreas de plantio, controle automático de operação e sistemas de software para a gestão de dados e sensores situados em equipamentos agrícolas para a coleta de dados (MELLO; CAIMI, 2008).

Para Alves (2005) o desenvolvimento de programas computacionais voltados à agricultura engloba uma importante ferramenta e conceito denominado linguagem de programação. Uma das principais metas das linguagens de programação é permitir que programadores tenham uma maior produtividade, permitindo expressar suas intenções mais facilmente do que quando comparado com a linguagem que um computador entende nativamente.

Lins (2006) afirma que linguagens de programação são usadas para escrever programas que podem ser usados por humanos ou máquinas e que, por sua vez, implementam algoritmos. Assim como as linguagens humanas, as linguagens de computação possuem regras sintáticas, responsáveis pela sua forma, estrutura e semântica que garantem a sua correta definição.

Sebesta (2003) salienta que diversas linguagens de programação foram criadas para os mais variados domínios de aplicação, como exemplos destes domínios, aplicações científicas, aplicações comerciais, inteligência artificial, programação de sistemas e linguagens de propósitos especiais.

A linguagem de programação Visual Basic da Microsoft é definida como um sistema de programação usada para escrever programas de computador baseados no sistema operacional Windows, incluindo uma série de ferramentas de produtividade personalizadas (SILER; SPOTTS, 1999).

Santos et al. (2006) desenvolveram uma planilha eletrônica para a determinação da potência disponível na barra de tração de tratores agrícolas, através dos dados colhidos durante o ensaio a planilha determinou a força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração do trator.

Montanha (2010b) desenvolveu algoritmos para o processamento de dados coletados por fluxômetros e células de carga utilizando a ferramenta de programação *CRBasic* para o programa computacional *Datalogger Support Software* da fabricante Campbell Scientific. O programa computacional foi utilizado junto ao sistema eletrônico de aquisição de dados PC400 1.5 e apresentou maior velocidade no processamento dos dados coletados pelos sensores.

Pereira et al. (2005) desenvolveram um programa computacional de simulação da produtividade para suporte a decisão no plantio de milho. Foi observado que o aplicativo é completo suficientemente para a simulação da produtividade de um determinado solo e implantação por uso de agricultores, sendo capaz de auxiliar o produtor na tomada de decisão.

Garcia et al. (2003) desenvolveram um programa computacional para a aquisição de dados para a avaliação de máquinas agrícolas. O programa computacional desenvolvido, através da aquisição automática dos dados foi capaz de colher os dados de maneira eficiente eliminando erros que poderiam ser gerados durante a

coleta de dados convencional, também foi observado a facilidade de operação do sistema durante o ensaio, permitindo rapidez na operação de aquisição de dados e a capacidade de ser utilizado em diferentes tipos de máquinas agrícolas.

Mercante et al. (2006) desenvolveram um programa computacional “PRAPRAG” em linguagem de programação. O modelo tinha como objetivo selecionar máquinas e adequá-las aos parâmetros operacionais como: velocidade de trabalho, eficiência e os econômicos. O programa computacional desenvolvido atuava no planejamento de seleção dos equipamentos, com base na análise operacional do plano de produção requerido e nos parâmetros de desempenho operacional das máquinas. O modelo ao final do seu funcionamento selecionava os melhores conjuntos mecanizados como: trator, implementos e os equipamentos do tipo autopropelido.

Montanha et al. (2009) desenvolveram um programa computacional utilizando a linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) para realizar o processamento de dados coletados por sensores Crop Circle ACS-470 e sistema de aquisição de dados GeoSCOUT GIS GLS 400. A utilização do programa computacional melhorou o tempo de processamento de dados e reduziu os erros operacionais causados pelos usuários.

Campos (2009) desenvolveu um programa computacional denominado “Aplicativo para Ensaio de Tração – AET” utilizando a linguagem de programação Microsoft Visual Basic 6. O programa foi destinado à aquisição, processamento e armazenamento dos dados provenientes do ensaio de tração de tratores e apresentou economia de tempo para o usuário ao gerar automaticamente os relatórios de ensaio na barra de tração.

Mello e Caimi (2008) afirmam que o setor agrícola tem sido agraciado com expressivos benefícios no uso da computação e das tecnologias de comunicação que incorporam sistemas computacionais como: sensores embarcados em equipamentos de manejo agrícola para coleta de dados, posicionamento global para mapeamento de áreas de plantio, controle automático de operação e sistemas de programas computacionais para gestão de dados, dentre outros. Todos benefícios oferecidos pelas soluções baseadas em TI se apresentam como sistemas eletrônicos para monitoramento e controle de máquinas, implementos, instalações e processos, e desempenham um papel fundamental para a informatização das empresas agrícolas brasileiras.

#### 4.8 Dinâmica não-linear e função AREF

O estabelecimento de equações para modelar processos naturais é busca antiga do homem, e talvez tenha começado a ter sucesso na proposição das Leis de Newton da Mecânica. Basta conhecer o estado inicial de um sistema e todas as forças que nele atuam para que todo comportamento futuro esteja univocamente determinado pela resolução das equações provenientes dessas leis (HIRSH; SMALE, 1974).

Piqueira (2000) cita que ao longo dos séculos XVIII e XIX, físicos e matemáticos aprimoraram o uso das Leis de Newton, desenvolvendo métodos eficientes para a resolução dos mais diversos tipos de equações diferenciais, originárias, fundamentalmente, dos problemas de Mecânica. Entretanto isso não atraiu os pesquisadores de outras áreas para o uso dessas metodologias. Dois pontos pareciam faltar para compatibilizar essas ideias com os processos biológicos, sociais e culturais que, efetivamente, nos rodeiam: o imponderável e o complexo.

A teoria do caos iniciou-se no final do século XIX com os estudos em mecânica celeste do matemático Poincaré e posteriormente teve uma grande contribuição com o trabalho do meteorologista Lorenz em seu artigo clássico (LORENZ, 1963), que foi um dos primeiros trabalhos a descrever sobre caos em um sistema dinâmico determinístico.

Historicamente Poincaré é considerado um dos fundadores do estudo moderno dos sistemas dinâmicos e das propriedades essenciais do caos; além disso, Poincaré compreendia a característica central da teoria do caos, que hoje chamamos de sensibilidade às condições iniciais, conforme descrito por Savi (2005).

Ferreira (2010) cita que entre o fim dos anos 60 e o começo dos anos 70, aparecem vários trabalhos essenciais sobre a teoria do caos como os de Ruelle e Takens (RUELLE; TAKENS, 1971), que teve rapidamente um grande impacto na comunidade científica sendo considerado ponto de partida de uma corrida para tentar descobrir a existência de comportamento caótico em dados experimentais, provenientes da observação e mensuração de fenômenos físicos.

Inicialmente relacionado apenas a fenômenos físicos, os sistemas caóticos mostraram, ao longo da História, abranger desde fatos corriqueiros simples, como o cair de uma folha ou o movimento de uma bandeira ao vento, até processos muito mais complexos, como as variações climáticas, o batimento cardíaco e outros processos

fisiológicos ou mesmo o próprio curso de uma vida (ARGYRIS et al., 1994; GLASS; MACKEY, 1943).

Segundo Puig (2013) sistemas dinâmicos não-lineares são sistemas cujas grandezas que os descrevem evoluem no tempo de forma não-periódica, irregular, aleatória e, portanto, imprevisível. Os modelos matemáticos que procuram representar seu comportamento apresentam características que têm renovadamente surpreendido os pesquisadores ao longo das últimas décadas.

O mesmo autor cita ainda de que modelos matemáticos simples são capazes de gerar comportamentos extremamente complexos, atirou por terra a concepção tradicional de que efeitos complexos têm necessariamente causas complexas. Isso se dá devido à característica de dependência hipersensível das condições iniciais. Tal dependência gera resultados qualitativamente muito diversos para um mesmo sistema, dada uma minúscula variação em suas condições iniciais. Outras características intrigantes desses modelos são a presença de "janelas de ordem" em meio ao caos (trechos em que os resultados parecem seguir uma sequência ordenada, para depois caírem novamente numa forma não-periódica), a possível ocorrência de uma persistente auto-semelhança em escalas (ligada à já bastante estudada geometria fractal) e a da universalidade de sua aplicação (ou seja, a possibilidade de descrever um comportamento caótico em dinâmica de fluidos, circuitos elétricos ou em biologia, a partir do mesmo sistema de equações não-lineares).

Os sistemas caóticos, que são sistemas dinâmicos determinísticos não-lineares que apresentam comportamento caótico são caracterizados basicamente pelas seguintes propriedades (KERNICK, 2006): Não-linearidade, onde se o comportamento de um sistema dinâmico for linear, esse sistema não pode ser caótico. Sensibilidade com relação às condições iniciais, onde as pequenas alterações nas condições iniciais podem levar a comportamentos radicalmente diferentes do sistema em seu estado final. Determinismo, onde existem regras subjacentes determinísticas (não probabilísticas) que todo estado futuro do sistema deve obedecer. Manutenção da irregularidade no comportamento do sistema, onde há uma ordem oculta que inclui um número grande ou mesmo infinito de configurações periódicas subjacentes à estrutura desses sistemas, ou seja, há uma "ordem na desordem". Impossibilidade de previsão em longo prazo, onde em decorrência da sensibilidade às condições iniciais, a previsão do comportamento dos sistemas caóticos em longo prazo é impossível, visto que as condições iniciais são sempre

conhecidas apenas com precisão finita. Técnicas de eliminação do comportamento caótico do sistema dinâmico não linear podem ser utilizadas na tentativa de controlar o caos induzindo esses sistemas a se comportarem como se fossem periódicos ou simplesmente, ou técnicas que alterarão o movimento deste sistema dinâmico para outro comportamento caótico desejado.

Para Sakai (2004) os sistemas na agricultura consistem de componentes ecológicos, econômicos e sociais interconectados em redes complexas. Para atingir a sustentabilidade na agricultura é importante determinar os fatores que governam sistemas complexos e não lineares. A teoria do caos, identificada como ferramenta essencial para investigação e descrição de sistemas não lineares e sistemas complexos, tem apresentado inúmeras discussões e trabalhos se apresentando como metodologia esperada para resolver os problemas de sustentabilidade. Ferramentas para análise de dados temporais não lineares têm sido desenvolvidas para identificar o caos determinístico em fatores do mundo real contendo milhares de dados.

Sakai (2009) afirma que a teoria do caos determinístico tem fascinado muitos cientistas, engenheiros e pesquisadores nas últimas três décadas e esse cenário têm proporcionado inúmeros estudos experimentais direcionados para obtenção de dados de consumo energético e força de tração (WOLF, et al., 1981; SAKAI et al., 1988; SAKAI et al., 1993; SAKAI; AIHARA, 1994; SAKAI, 1999; SAKAI 2001; SAKAI et al., 2000; GLANCEY; UPADHYAYA, 1995; BUKTA et at., 2002).

Embora muitos estudos realizados reconhecerem a variabilidade espacial nos dados de força em operações de preparo do solo, sobretudo, esses estudos se concentram nos valores médios dos dados e se esforçam em relacionar esses dados médios com propriedades do solo como densidade, umidade, textura, valores de índice de cone, geometria de ferramentas e implementos agrícolas e condições operacionais como velocidade e profundidade de trabalho (GLANCEY et al., 1996; LIU et al., 1996; UPADHYAYA et al., 1999; ANDRADE et al.; 2000).

Alguns estudos (UPADHYAYA et al., 1987; GLANCEY; UPADHYAYA, 1995) incluíram a análise de espectro de potência nas séries temporais de dados, mas não foram experimentados as associações das amplitudes e frequências desses dados com propriedades do solo ou condições de operações agrícolas (SAKAI, 2005).

Para Sakai et al. (2005) é consideravelmente possível que as variabilidades encontradas na força de rompimento do solo originem-se da natureza não-linear da interação solo-ferramenta e é um reflexo do entendimento de um princípio fundamental que pode ser associado com propriedades do solo se as condições operacionais tais como velocidade de operação, profundidade de trabalho e geometria das ferramentas forem controlados.

Segundo ainda o autor, a função AREF (*autoregressive error distribution*) pode identificar padrões de linearidade em sistemas complexos e não-lineares que ocorrem no mundo real. Esses padrões lineares podem fornecer parâmetros que auxiliam quantificar a complexidade da variabilidade de padrões de força de rompimento do solo em operações de campo. A função AREF pode ser definida pela relação  $\log [\sigma(\tau)]$  e  $\log [\tau]$ .

Sakai et al. (2005) realizaram uma análise no espectro de potência espacial utilizando a função de distribuição de erro auto-regressiva (AREF – *autoregressive error distribution function*) em solo *yolo loam* na Universidade da Califórnia, Davis. Os dados de força foram obtidos por uma haste instrumentada descrita por Liu et al. (1996) em quatro condições diferentes de solo e em duas velocidades de operação. Os resultados encontraram linearidade para as quatro diferentes condições de solo utilizadas (seco preparado, úmido preparado, seco não preparado, úmido não preparado) para intervalos de  $\log \tau$  menores que -1,0.

Para Ferreira (2010) a teoria dos sistemas dinâmicos determinísticos, incluindo a teoria do caos, tem fornecido novas ferramentas para a análise de séries temporais experimentais e diversos algoritmos computacionais foram e ainda estão sendo criados para aperfeiçoar estas análises.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Material**

#### **5.1.1 Descrição da área de estudo**

Os ensaios foram realizados em área experimental pertencente à *Tokyo University of Agriculture and Technology* localizada no Distrito de Fuchu, cidade de Tóquio, Japão.

A universidade forneceu centro de pesquisa nas áreas de agricultura de precisão e mecanização agrícola e disponibilizou tecnologias para a instrumentação das máquinas e equipamentos agrícolas. Pesquisadores da mesma universidade foram responsáveis pelo desenvolvimento da metodologia de análise de dados temporais para realizar o processamento dos dados coletados nesse trabalho.

A pesquisa foi conduzida em dois períodos, o primeiro de setembro a outubro de 2011, onde se realizou a instrumentação dos equipamentos agrícolas e a coleta de dados nos ensaios de campo, e o segundo período de janeiro a março de 2013, onde foram discutidas e desenvolvidas as metodologias para análise e processamento de dados.

A área experimental total utilizada foi de 1728 m<sup>2</sup> com parcelas de 60 m<sup>2</sup> para cada repetição localizando-se entre as coordenadas geográficas UTM 35°40'57.13"N e 139°29'9.65"S e altitude de 224 m, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Vista parcial da área experimental

### 5.1.2 Caracterização do solo

O solo da área experimental foi classificado como *Andosol*, que de acordo com a Soil Taxonomy (1999), são solos minerais geralmente originados de materiais vulcânicos recentes, em especial de cinzas vulcânicas, pedra-pomes e em menor proporção de escórias basálticas. Esses solos apresentam propriedades ândicas com densidades menores que  $0,9 \text{ g.kg}^{-1}$ , retenção de P maiores que 85% e altos teores de Al e Fe.

O relevo apresentou declividade máxima de 2%, onde, segundo classificação de Giboshi (1999) e Ramalho-Filho e Beek (1995), referindo-se ao grau de limitação ao impedimento à mecanização, classificou-se como plano, permitindo em qualquer época do ano o emprego de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas de uso comum.

Para determinação da resistência mecânica do solo à penetração utilizou-se um penetrômetro estático com mola dinamométrica. No total foram coletadas quinze amostras distribuídas na área experimental de acordo com a Figura 2.

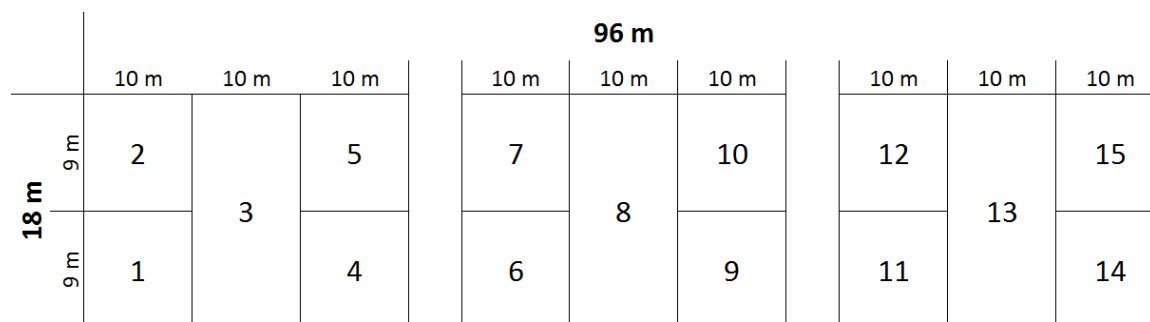


Figura 2. Representação das parcelas de amostragem do solo

Para a coleta de amostras e determinação da densidade do solo foram utilizados cilindros metálicos com anéis de alumínio, balança e estufa elétrica. Na determinação do teor de água no solo, foram utilizados anéis de alumínio, fita de vedação, estufa elétrica e balança de precisão.

### 5.1.3 Trator agrícola

Para a realização dos ensaios foi utilizado um trator agrícola de pequeno porte da marca ISEKI ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Trator agrícola ISEKI Sial Hunter 22

O trator agrícola apresentou características adequadas para tracionar o equipamento proposto no trabalho e dimensões apropriadas para as limitações geográficas da área utilizada. A Tabela 1 descreve as principais características do trator.

Tabela 1. Especificações do trator agrícola

Descrição	Características
Marca	ISEKI
Modelo	Sial Hunter 22
Tipo/Classificação	4 x 2 TDA
Motor	Diesel, 3 cilindros
Potência motor (cv/kW)	24,3 / 17,8 @ 2600 rpm
Capacidade tanque combustível (l)	28
Marchas (frente x ré)	8 x 3
Velocidades (km.h <sup>-1</sup> )	1,7 - 22,2
TDP (rpm)	5600 (2600 rpm do motor)
Categoria do sistema hidráulico	Três pontos categoria I
Capacidade de levante na rótula (kgf)	600
Vazão máxima (l/min)	20,9
Comprimento do trator (mm)	2870
Largura do trator (mm)	1110
Distância entre eixos (mm)	1560
Distância ao solo (mm)	250
Massa (kg)	860
Bitola dianteira mín. - máx. (mm)	600 - 1200
Bitola traseira mín. - máx. (mm)	950 - 1800

#### 5.1.4 Equipamento agrícola

Foi utilizado um equipamento agrícola denominado *plowsoiler* desenvolvido pela empresa japonesa *Sugano Farm Machinery*. O equipamento consistiu de uma plataforma metálica montada junto ao sistema hidráulico de três pontos do trator agrícola e ofereceu suporte para a alocação de hastes com defletores de até 7 cm de largura.

O equipamento apresentou modelos com suporte de duas a cinco hastes para larguras de trabalho de 1,20 a 2,20 m. Para a realização dos ensaios foi desenvolvido um modelo específico com suporte para apenas uma haste escarificadora (Figura 4). Foi possível a partir desse novo modelo se adequar às condições de ensaios propostos no trabalho e às especificações do trator agrícola de pequeno porte utilizado.



Figura 4. Equipamento agrícola *plowsoiler*

### **5.1.5 Receptor GNSS**

Para obtenção das coordenadas geográficas durante a realização dos ensaios foi instalado no trator agrícola um receptor GNSS da marca Hemisphere GPS modelo Smart Antenna, descrito na Tabela 2.

Foi utilizado o sistema de correção diferencial e-Dif, tecnologia de propriedade da empresa Hemisphere GPS. O sistema de correção se baseou no uso de algoritmos introduzidos nos receptores GNSS, o que possibilitou erros aproximados de até 60 mm na coleta de dados (Figura 5).

Tabela 2. Especificações do receptor GNSS

Descrição	Características
Marca	Hemisphere
Modelo	Smart Antenna
Dimensões	55 x 13 cm
Alimentação	7 – 36 V <sub>DC</sub>
Temperatura operacional	- 30°C a + 70°C
Canais de comunicação	12 (+ 10 com sistema SBAS)
DGPS	SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS) e-Dif, L-dif
Sinal	L1, C/A e COAST



Figura 5. Receptor GNSS Hemisphere Smart Antenna

### 5.1.6 Sensores

Para realizar a instrumentação do trator e do equipamento agrícola, foram utilizados cinco extensômetros elétricos de resistência modelo KFG-5-350-C1 da fabricante *Kyowa Eletronic Instruments*. As principais características dos sensores são descritas na Tabela 3 e ilustradas na Figura 6.

Tabela 3. Especificações do extensômetro elétrico de resistência

Descrição	Características
Marca	Kyowa
Modelo	KFG-5-350-C1
Dimensões de base	9,4 x 4,2 mm
Dimensões de grid	5 x 2 mm
Temperatura operacional	-196 °C a +150 °C
Resistência	350 $\Omega$

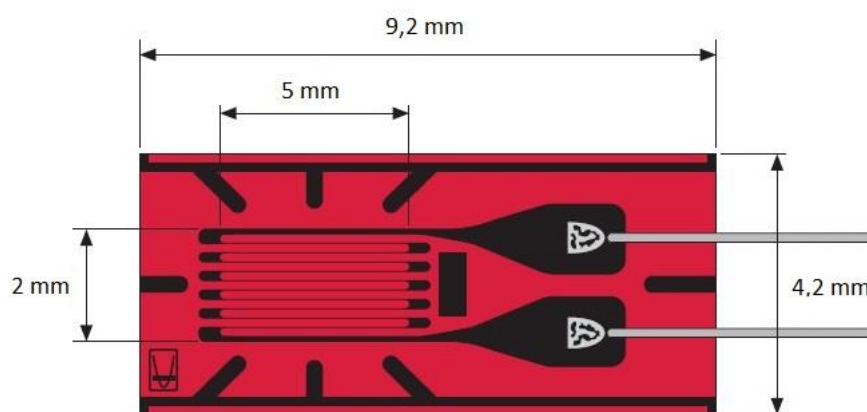


Figura 6. Extensômetro elétrico de resistência KFG-5-350-C1

Foram instalados três extensômetros elétricos de resistência na haste escarificadora do equipamento *plowsoiler* denominados sensor ch1, sensor ch2 e sensor ch3. Os sensores foram posicionados na haste de acordo com Sakai et al. (2005), conforme ilustrado na Figura 7.

Outros dois extensômetros elétricos de resistência foram instalados no eixo dianteiro direito e no eixo dianteiro esquerdo do trator agrícola, denominados respectivamente de sensor ch4 e sensor ch5.

Todos os sensores foram isolados utilizando uma cola adesiva específica para atuação em materiais metálicos da fabricante *Kyowa Electronic Instruments* modelo CC-33A, com intervalo de temperatura de operação de -196°C a 120°C.

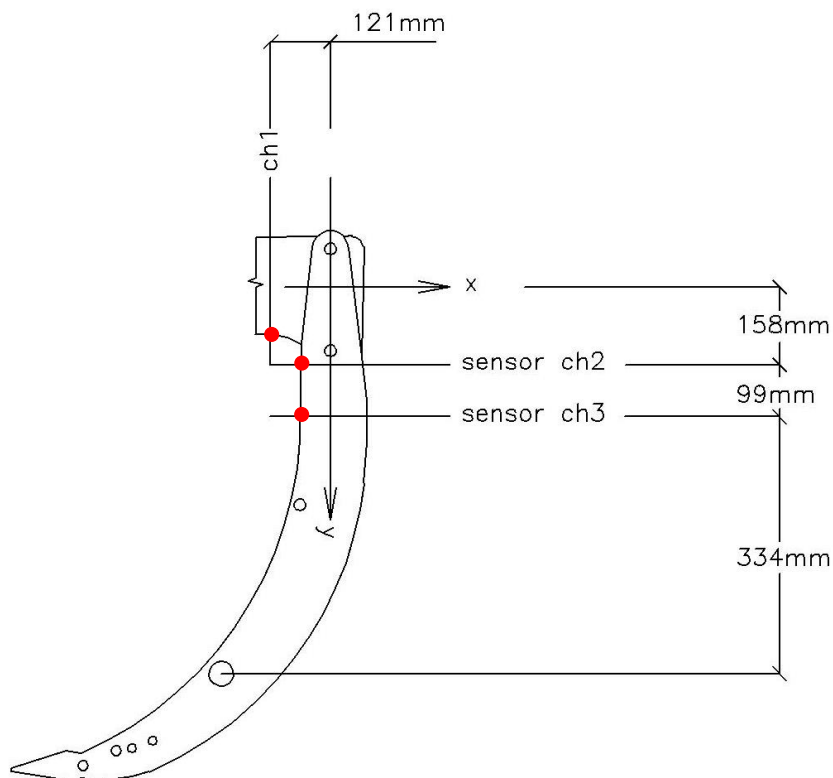


Figura 7. Instalação dos extensômetros elétricos de resistência na haste

### 5.1.7 Sistema eletrônico de aquisição de dados

Para a coleta dos dados foram utilizados três sistemas eletrônicos de aquisição de dados modelo DBU-120 da fabricante *Kyowa Electronic Instruments*, conforme descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações do sistema eletrônico de aquisição de dados DBU-120

Descrição	Características
Marca	Kyowa
Modelo	DBU-120
Dimensões	144 x 90 x 35 mm
Massa	350 g
Resistência	120 $\Omega$ a 1 k $\Omega$
Alimentação	10 V <sub>DC</sub>
Frequência de coleta	1 Hz a 20 kHz

Os sistemas foram responsáveis pela leitura e armazenamento dos sinais gerados pelos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste escarificadora do equipamento *plowsoiler*.

Os dispositivos adequaram-se às propostas do trabalho possibilitando altas frequências de coleta de dados de até 20 kHz. A presença de canais de conexão USB (*universal serial bus*) permitiu a transferência simultânea dos sinais gerados para o microcomputador.

A comunicação sincronizada em tempo real entre os sistemas eletrônicos de aquisição e o microcomputador permitiu a apresentação de resultados por meio de um programa computacional fornecido pela fabricante. A Figura 8 ilustra o sistema de aquisição de dados DBU-120 e suas dimensões em milímetros (mm).

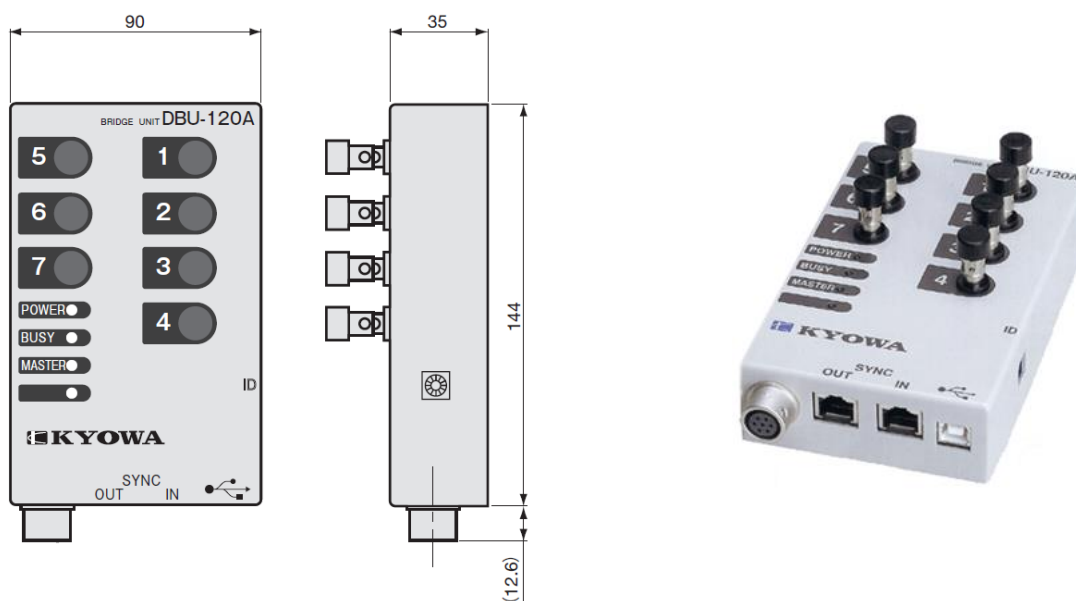


Figura 8. Sistema eletrônico de aquisição de dados DBU-120

Foi utilizado o programa computacional DAS-100A da fabricante *Kyowa Electronic Instruments* conforme ilustrado na Figura 9. O programa possibilitou a visualização em tempo real dos resultados em forma de gráficos, análises, listas numéricas ou resultados estatísticos no computador industrial.



Figura 9. Programa computacional DAS-100A

Posteriormente os dados armazenados no computador industrial puderam ser salvos em formato CSV (*comma separated values*) e transferidos para um computador portátil possibilitando seu processamento em outros programas computacionais como Microsoft Excel 2010 e SigmaStat 3.5.

Para coletar os dados gerados pelos sensores ch4 e ch5 instalados respectivamente no eixo dianteiro direito e no eixo dianteiro esquerdo do trator, foi utilizado um sistema eletrônico de aquisição de dados modelo EDS-400A da fabricante *Kyowa Eletronic Instruments*, descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Especificações do sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A

Descrição	Características
Marca	Kyowa
Modelo	DAS-100A
Dimensões	100 x 50 x 110 mm
Massa	500 g
Alimentação	10 - 16 V <sub>DC</sub> , 0,6 A
Canais	4
Frequência de coleta	1 Hz a 20 kHz (4 canais) 100 kHz (1 canal)
Resistência	120 Ω - 1000 Ω
Armazenamento	Cartão CF 128 MB to 2 GB

O sistema caracterizou-se por possuir tamanho compacto e atuar de forma simultânea na coleta de dados de até quatro canais sensores com frequência máxima de 20 kHz. A Figura 10 ilustra o equipamento com dimensões dadas em milímetros (mm).

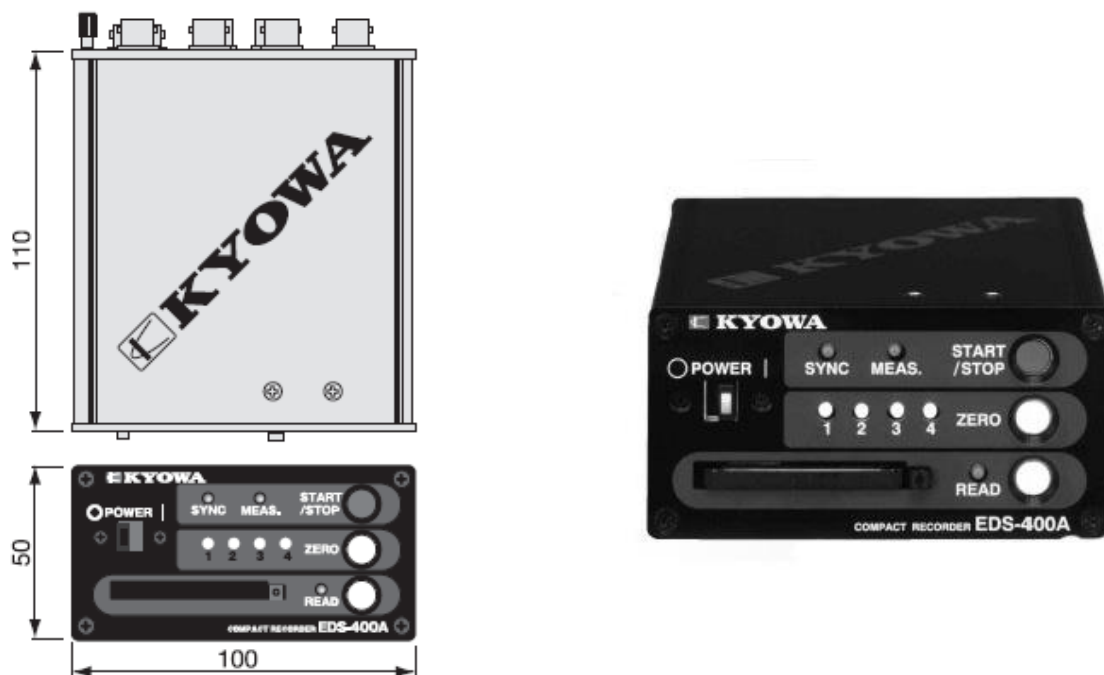


Figura 10. Sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A

### 5.1.8 Microcomputador

Um computador industrial utilizado, apropriado para realização de trabalhos de campo, foi instrumentado junto ao trator agrícola e utilizado durante a realização dos ensaios. O sistema de armazenamento apresentou tecnologia para proteção de impactos causados em trabalhos de campo e a bateria com capacidade de trabalho de até 9 horas contínuas para o sistema operacional Windows Vista® e 12,5 horas para o sistema operacional Windows XP.

O computador, descrito na Tabela 6 e ilustrado na Figura 11, ofereceu suporte para sistemas operacionais Windows Vista® Business e Windows XP, sistema sensível a toque e tecnologia *CircuLumin* para melhorar a visualização sob efeito da luz solar.

Tabela 6. Especificações do computador industrial

Descrição	Características
Modelo	Toughbook 30
Dimensões (mm)	290 x 300 x 70
Massa (kg)	3,8
Processador	Intel <sup>®</sup> Core™ 2 vPro™ technology SL9300
Armazenamento	160 GB
Memória	2048 MB SDRAM



Figura 11. Computador industrial Panasonic Toughbook 30

A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento de algoritmos e programas computacionais específicos para o processamento dos dados coletados foi o *Visual Basic for Applications* (VBA) da empresa Microsoft, definido como sistema de programação usado para escrever programas de computador baseados em sistemas operacionais Windows.

### 5.1.9 Haste

Foram utilizados três tipos de haste para a realização dos ensaios. A Figura 12 (a) ilustra o tipo de haste com defletor metálico instalado à sua frente, a Figura 12 (b) o tipo de haste com defletor plástico instalado à sua frente e a Figura 12 (c) o tipo de haste sem nenhum defletor instalado.



Figura 12. Haste com defletor metálico (A), defletor plástico (B) e sem defletor (C)

As dimensões dos tipos de haste com defletores (metálico ou plástico) são ilustrados na Figura 13 e as dimensões do tipo de haste sem defletor instalado à sua frente são ilustrados na Figura 14.

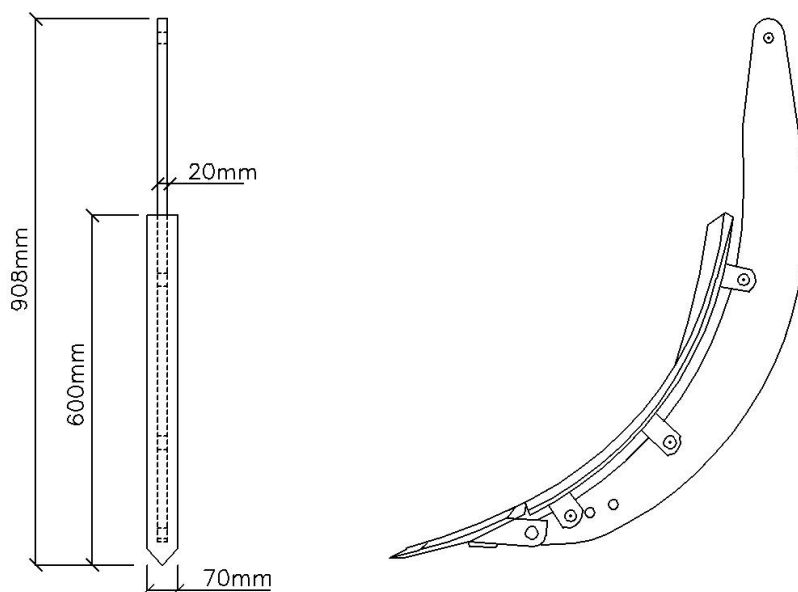


Figura 13. Dimensões da haste com defletor

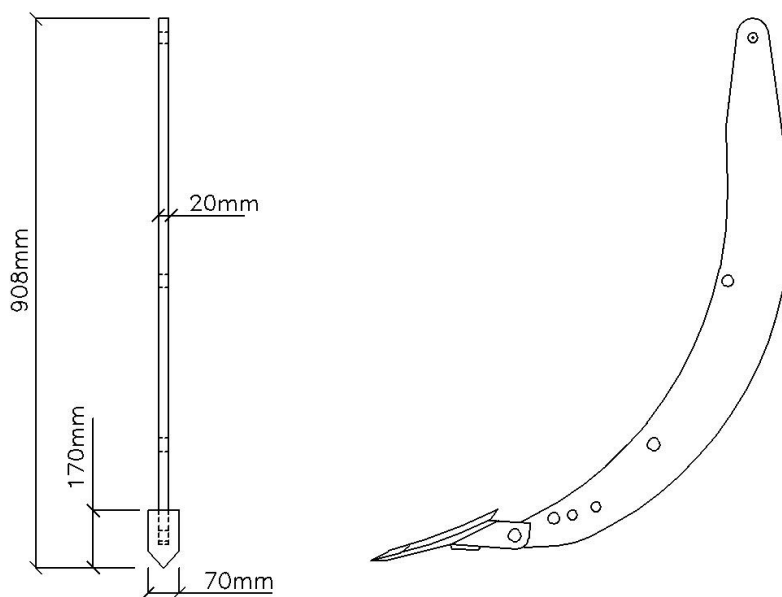


Figura 14. Dimensões da haste sem defletor

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Instalação dos sensores

Três extensômetros elétricos de resistência KFG-5-350-C1 foram instalados na haste escarificadora utilizando a cola adesiva modelo CC-33A específica para realizar o isolamento e a proteção de sensores atuantes em materiais metálicos (Figura 15).



Figura 15. Extensômetros elétricos de resistência antes (A) e depois (B) do cola isolante

Dois extensômetros elétricos de resistência KFG-5-350-C1 foram instalados no eixo dianteiro direito e esquerdo do trator agrícola. O sensor instalado no eixo dianteiro direito foi denominado sensor ch4 e o sensor instalado no eixo dianteiro esquerdo de sensor ch5 (Figura 16).



Figura 16. Sensor ch4 (A) e sensor ch5 (B) instalados no trator agrícola

### 5.2.2 Calibração dos sensores

Realizou-se a calibração dos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste do equipamento escarificador por meio de uma célula de carga aferida comparando-se os sinais gerados pelos sensores com os valores gerados pela célula de carga, conforme ilustrado na Figura 17.

Os sinais gerados pela célula de carga e pelos sensores foram coletados e armazenados pelo sistema eletrônico de aquisição de dados modelo DBU-120A, posteriormente transferidos para um computador industrial que permitiu a visualização, processamento e geração de resultados de calibração utilizando programas computacionais.

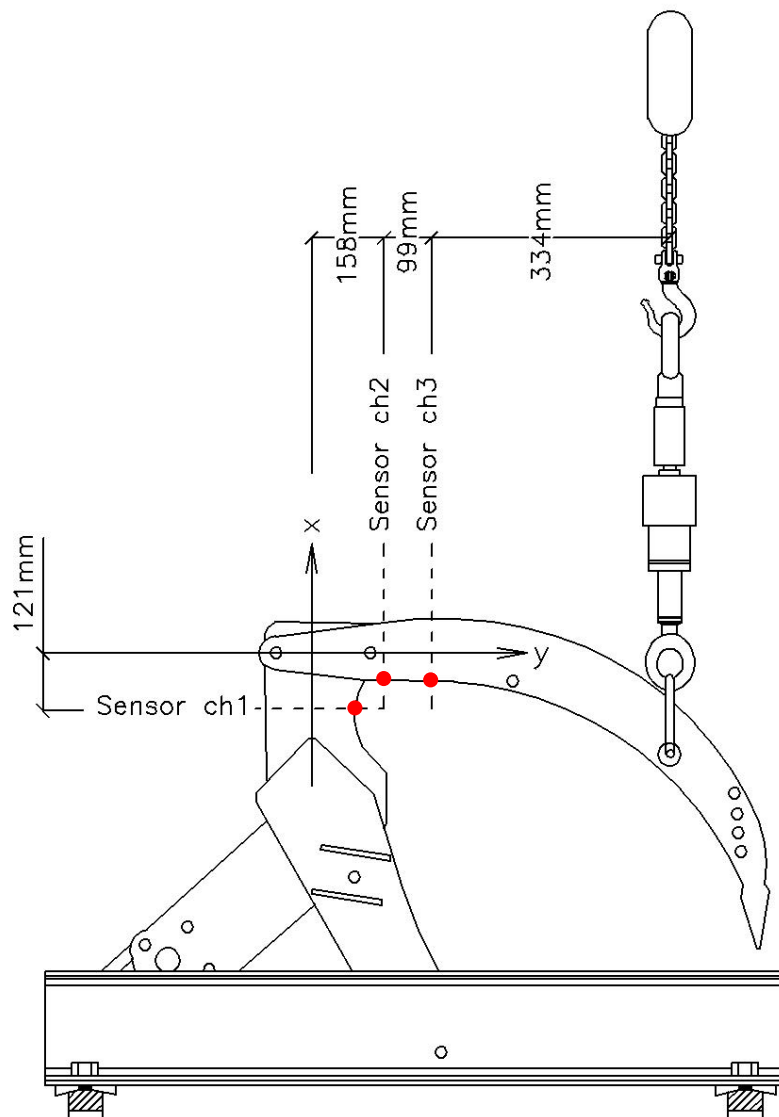


Figura 17. Sistema de calibração dos sensores ch1, ch2 e ch3

### 5.2.3 Instalação do equipamento

O equipamento escarificador *plowsoiler* foi acoplado na parte traseira do trator nos três pontos do sistema hidráulico conforme ilustrado na Figura 18(a) sendo o trator agrícola responsável pela tração da ferramenta. A regulagem mantida para todos os tratamentos foi realizada por um nível disposto junto ao equipamento conforme ilustrado na Figura 18(b).

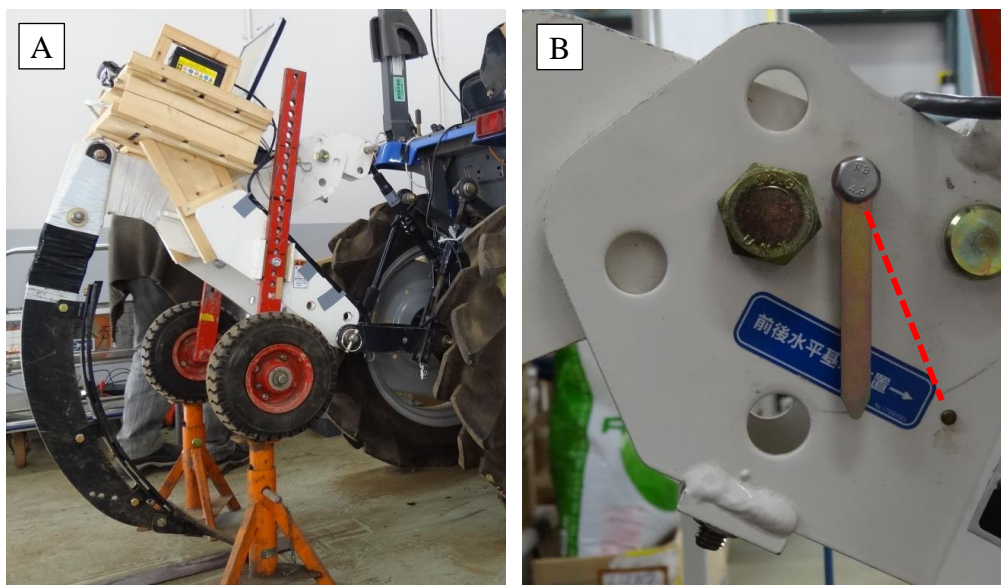


Figura 18. Equipamento acoplado ao trator agrícola (A) e nível para regulagem (B)

#### 5.2.4 Instalação do sistema de aquisição de dados e microcomputador

Uma estrutura de madeira foi construída e fixada junto ao equipamento *plowsoiler* para alocação dos dispositivos conforme ilustrado na Figura 19.

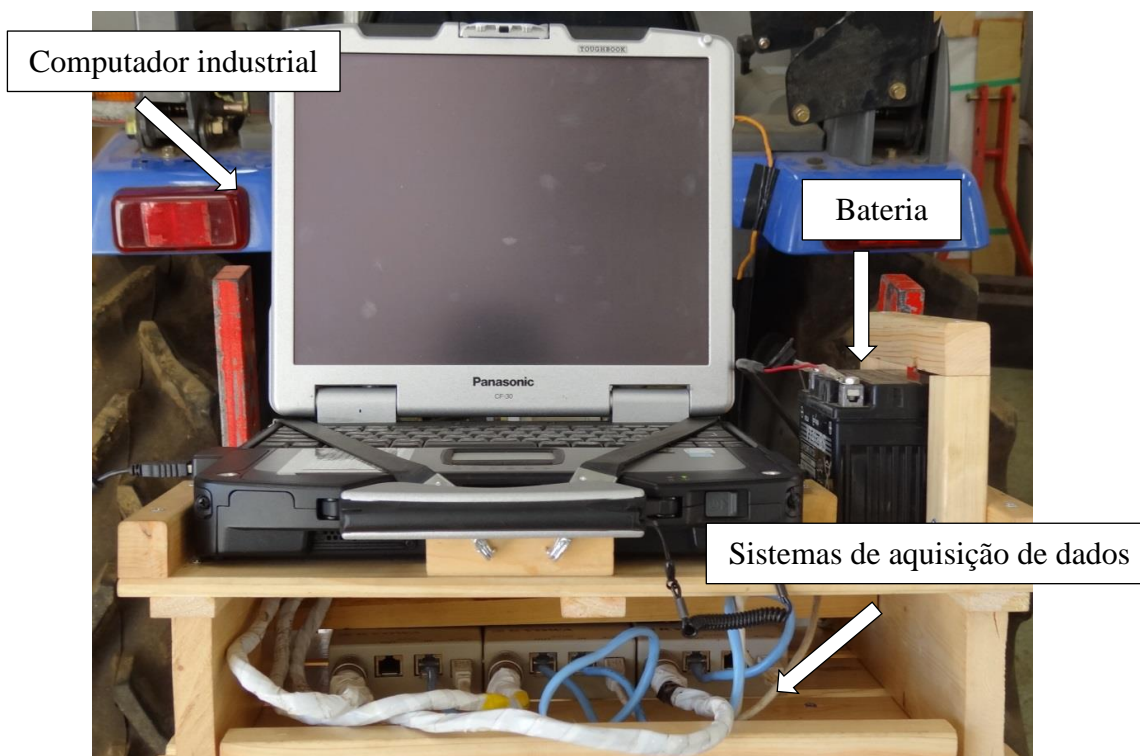


Figura 19. Instalação dos sistemas de aquisição de dados e microcomputador

O conjunto foi responsável pela coleta de dados gerados pelos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste (Figura 20) e pelo receptor GNSS instalado no trator agrícola.

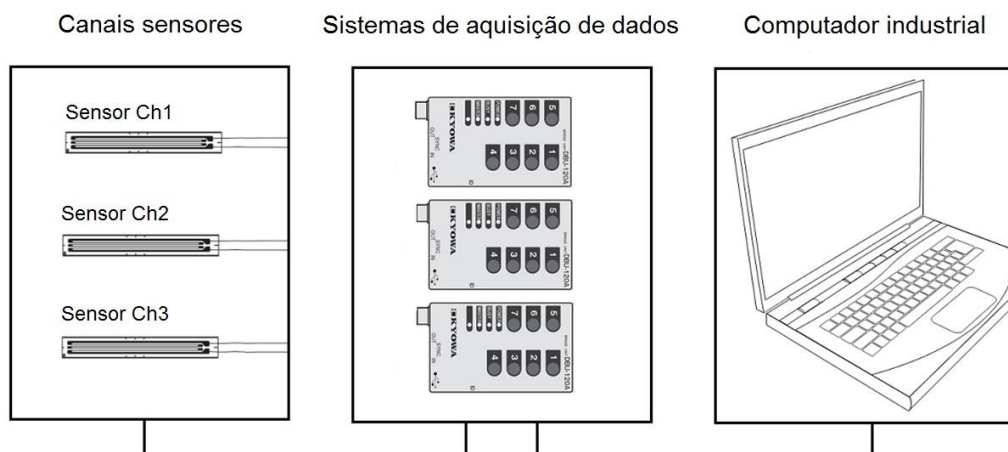


Figura 20. Fluxo de aquisição de dados dos sensores da haste do equipamento

Para a aquisição eletrônica dos dados gerados pelos sensores ch4 e ch5 instalados no eixo dianteiro direito e esquerdo do trator, foi utilizado uma estrutura de madeira fixada à roda traseira do lado direito do trator agrícola que alocou o sistema de aquisição de dados EDS-400A e o sistema de alimentação (Figura 21).

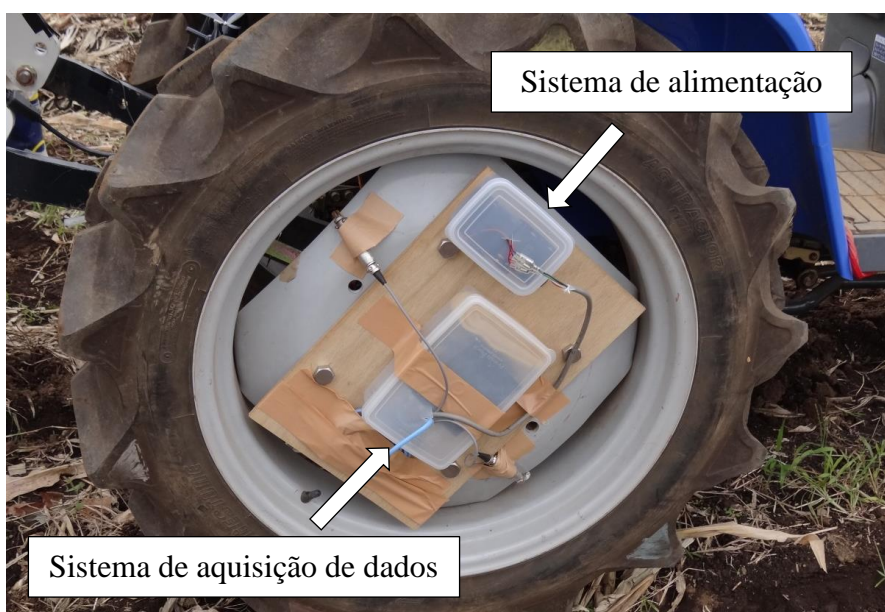


Figura 21. Instalação do sistema eletrônico de aquisição de dados EDS-400A

Os dois sistemas eletrônicos de aquisição de dados utilizaram frequência de 100 Hz para coletar os dados durante os ensaios.

Os três sistemas DBU-120 (utilizados para os sensores ch1, ch2 e ch3) após realizarem a coleta, transferiram os dados em tempo real para o computador industrial por meio de canais de comunicação USB.

Para o sistema EDS-400A (utilizado para os sensores ch4 e ch5) a transferência de dados foi realizada por meio de um cartão de memória flash de 512 MB após o final dos ensaios.

### 5.2.5 Delineamento experimental

O trabalho foi constituído por nove tratamentos descritos na Tabela 7 e delineados em blocos inteiramente casualizados com três repetições para cada tratamento totalizando vinte e sete parcelas experimentais conforme ilustrado na Figura 22.

Tabela 7. Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição
T1	Haste com defletor plástico e profundidade de trabalho de 15 cm
T2	Haste com defletor plástico e profundidade de trabalho de 25 cm
T3	Haste com defletor plástico e profundidade de trabalho de 35 cm
T4	Haste com defletor metálico e profundidade de trabalho de 15 cm
T5	Haste com defletor metálico e profundidade de trabalho de 25 cm
T6	Haste com defletor metálico e profundidade de trabalho de 35 cm
T7	Haste sem presença de defletor e profundidade de trabalho de 15 cm
T8	Haste sem presença de defletor e profundidade de trabalho de 25 cm
T9	Haste sem presença de defletor e profundidade de trabalho de 35 cm

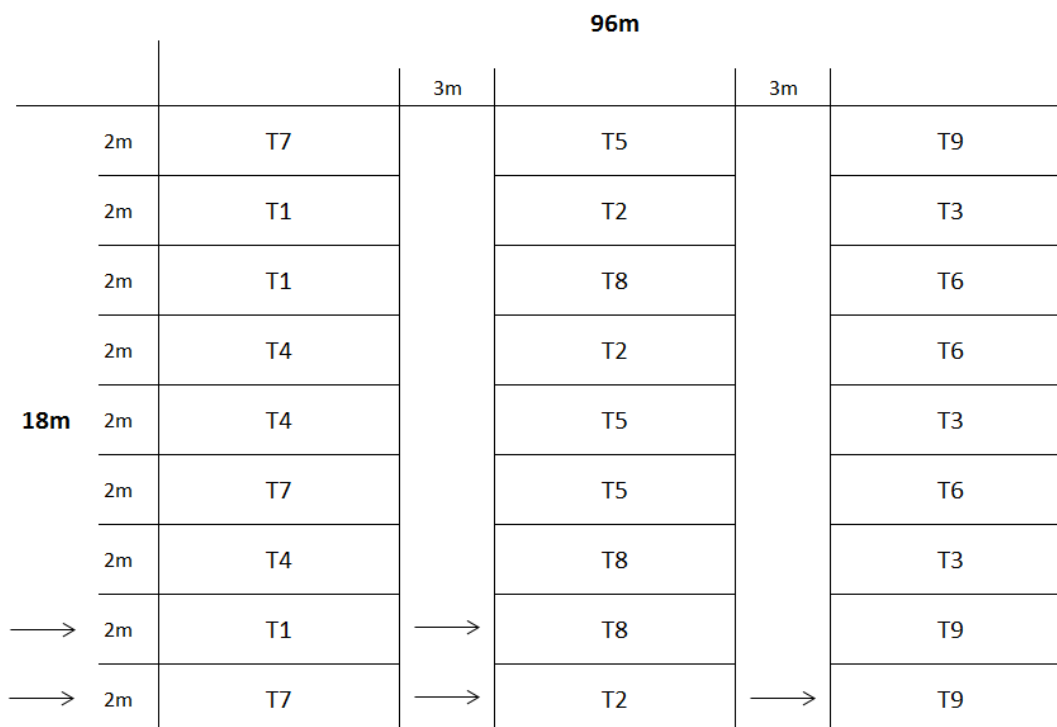


Figura 22. Delineamento experimental

Cada parcela apresentou dimensões de 2 m de largura por 30 m de comprimento, com área total de 60 m<sup>2</sup> por parcela. Entre os blocos foram reservados carregadores de 3 m para realização de manobras e estabilização dos equipamentos e sensores antes do início da aquisição de dados. A área total utilizada no experimento foi de 1728 m<sup>2</sup>.

### 5.2.6 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 (km.h<sup>-1</sup>) foi obtida de acordo com a Equação 1:

$$V_{md} = \left( \frac{s}{t} \right) * 3,6 \quad (1)$$

onde:

$V_{md}$  - velocidade média de deslocamento ( $\text{km.h}^{-1}$ );

s - distância percorrida (m);

t - tempo decorrido (s);

3,6 - fator de conversão.

### 5.2.7 Força horizontal, vertical e resultante

Para determinar os requerimentos de forças horizontal ( $F_x$ ) vertical ( $F_y$ ) e resultante ( $F$ ) solicitados pelas operações de campo utilizou-se uma haste instrumentada com extensômetros elétricos de resistência (Figura 23) segundo Liu et al. (1996) e Sakai et al. (2005) (Apêndice 3).

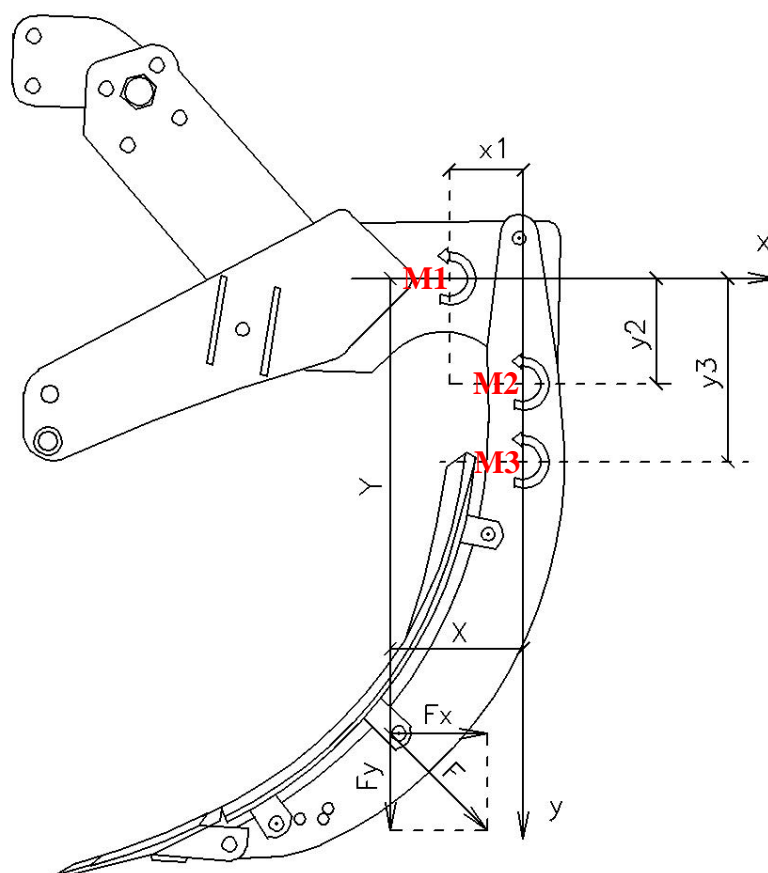


Figura 23. Determinação de forças no equipamento escarificador

Para determinação requerida de força horizontal ( $F_x$ ) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 2 (SAKAI, 2005):

$$F_x = \left( \frac{M_2 - M_3}{y_3 - y_2} \right) \quad (2)$$

onde:

$F_x$  = força horizontal (N)

$M_2$  = momento 2 (Nm)

$M_3$  = momento 3 (Nm)

$y_3$  = braço de momento vertical 3 (m)

$y_2$  = braço de momento vertical 2 (m)

Para determinação requerida de força vertical ( $F_y$ ) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 3 (SAKAI, 2005):

$$F_y = \left( \frac{M_2 - M_1}{x_1} \right) + \left( \frac{F_x(y_2)}{x_1} \right) \quad (3)$$

onde:

$F_y$  = força vertical (N)

$M_2$  = momento 2 (Nm)

$M_1$  = momento 1 (Nm)

$F_x$  = força horizontal (N)

$x_1$  = braço de momento horizontal 1 (m)

$y_2$  = braço de momento vertical 2 (m)

Para determinação requerida de força resultante ( $F$ ) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 4 (SAKAI, 2005):

$$F = \left( F_x^2 + F_y^2 \right)^{0,5} \quad (4)$$

onde:

F = força resultante (N)

F<sub>y</sub> = força vertical (N)

F<sub>x</sub> = força horizontal (N)

### 5.2.8 Análise de dados

Em uma primeira análise, 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 e as médias foram comparadas, quando necessárias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em uma segunda análise, utilizou-se a função AREF (*autoregressive error distribution function*) para encontrar os valores de parâmetros da função para todos os tratamentos realizados.

Segundo Sakai (2009), os parâmetros da função AREF podem quantificar a complexidade da variabilidade de padrões de força de rompimento do solo, e pode ser definida pela relação  $\log [\sigma(\tau)]$  e  $\log [\tau]$ . A diferença temporal que separa os dados  $\delta(t, \tau)$ , de acordo com Sakai (2009), pode ser definida pela Equação 5 como:

$$\delta(t, \tau) = X(t + \tau) - X(t) \quad (5)$$

onde:

$\tau = k\Delta t$

$k = (1, 2, 3, \dots, N)$

$t = (1, 2, 3, \dots, N)$

$\Delta t =$  intervalo de coleta (100 Hz)

X = dado de força (Nm)

A Equação 6 descreve as variações do desvio padrão  $\sigma(\tau)$  utilizados para encontrar os parâmetros da função (SAKAI, 2009):

$$\sigma(\tau) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N [\delta(t, \tau) - \mu(\tau)]^2}{N}} \quad (6)$$

onde:

$$\mu(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \delta(t, \tau)$$

Para realizar o processamento dos dados pela função AREF, foi desenvolvido um programa computacional específico para geração dos resultados. A tela operacional do programa apresentou as colunas “Data (N)”, “ $\tau$ ”, “ $\sigma(\tau)$ ”, “log [ $\tau$ ]” e “[ $\sigma(\tau)$ ]”; e os botões “Program 1”, “Program 2”, “Graph” e “Clear”. Para cada tratamento realizado, foram copiados os dados brutos de força posteriormente colados na coluna “Data (N)” do programa (Figura 24).

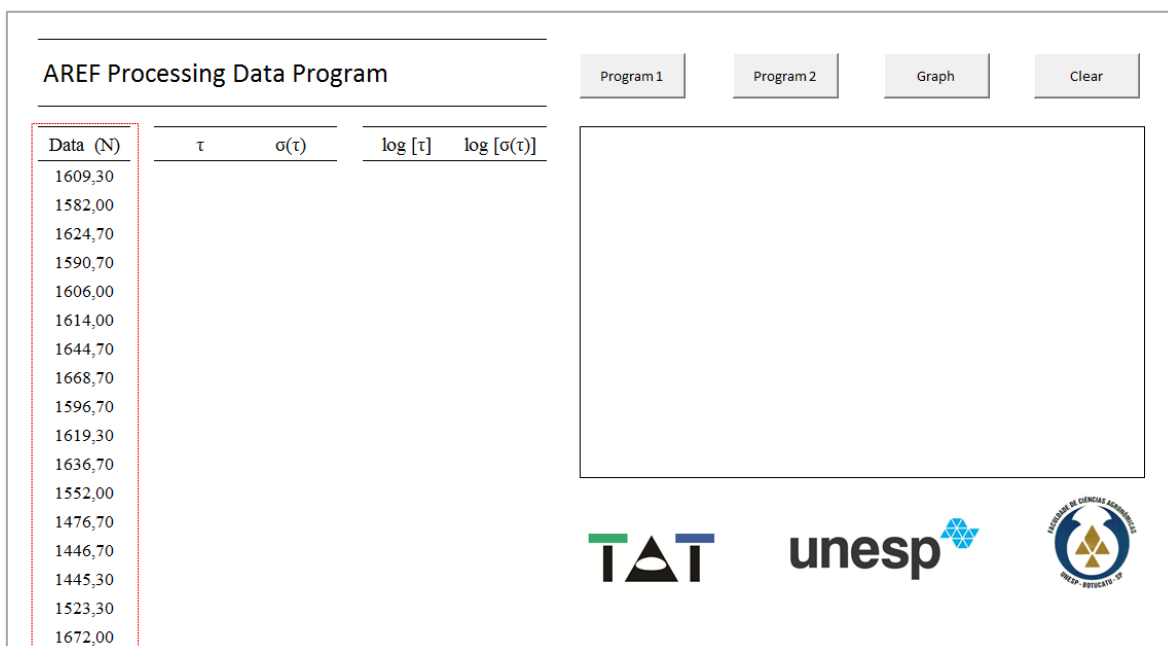


Figura 24. Inserção dos dados brutos do programa computacional

Após a inserção dos dados os botões “Program 1” e “Program 2” executaram algoritmos desenvolvidos em linguagem VBA armazenados em *macros* do Microsoft Excel 2010 (Apêndice 1).

O algoritmo do botão “Program 1” gerou os resultados apresentados nas colunas “ $\tau$ ” e “ $\sigma(\tau)$ ” e o algoritmo do botão “Program 2” gerou os resultados apresentados nas colunas “ $\log [\tau]$ ” e “ $[\sigma(\tau)]$ ” (Figura 25), de acordo com as equações 5 e 6 propostas por Sakai (2009).

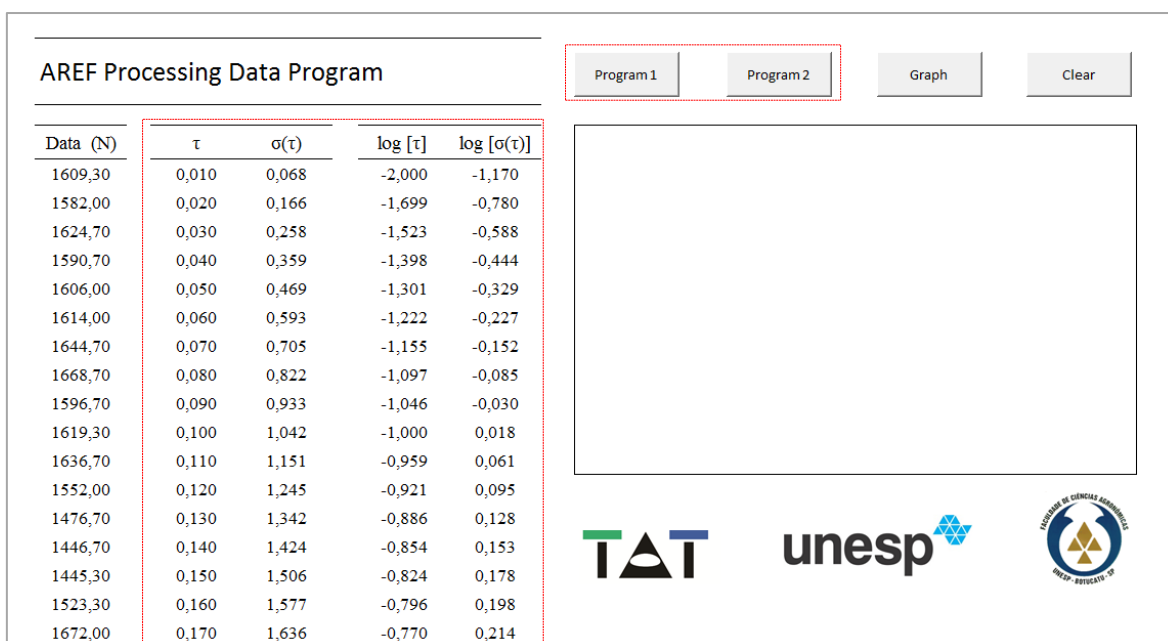


Figura 25. Geração de resultados do programa computacional

Após a geração dos resultados nas colunas “ $\tau$ ” e “ $\sigma(\tau)$ ” e “ $\log [\tau]$ ” e “ $[\sigma(\tau)]$ ”, utilizou-se o botão “Graph” para a elaboração de gráficos, conforme ilustrado na Figura 26. A partir da criação do gráfico, foi possível identificar os parâmetros da função AREF de  $\alpha$  (intercepto do eixo y) e  $\beta$  (inclinação da curva).

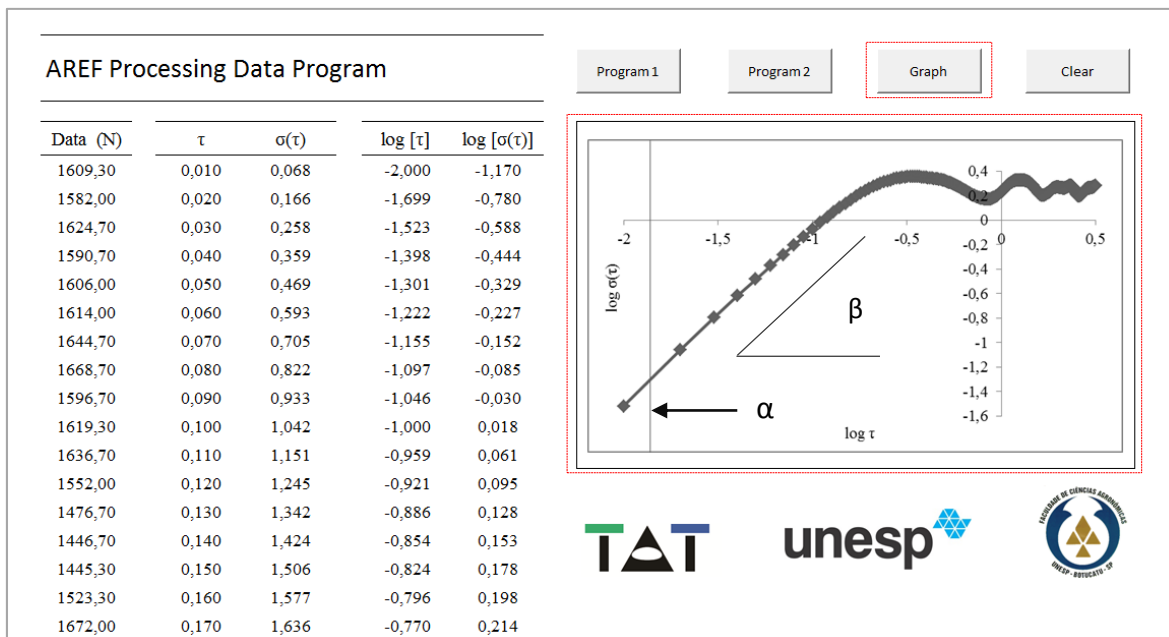


Figura 26. Geração dos gráficos do programa computacional

## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 6.1 Instrumentação do trator agrícola

O trator agrícola foi instrumentado com os sistemas sensores, sistemas eletrônicos de aquisição de dados, sistema GNSS, computador industrial e mostrou-se adequado para condução dos ensaios propostos no trabalho (Figura 27).



Figura 27. Trator agrícola instrumentado para realização dos ensaios

A Figura 27 ilustra o trator agrícola com os extensômetros elétricos de resistência da haste do equipamento escarificador (A), extensômetros elétricos de resistência dos eixos do trator (B), receptor GNSS (C), sistemas eletrônico de aquisição e processamento de dados (D) e computador industrial (E).

## 6.2 Calibração dos sensores

Os resultados de calibração dos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste do equipamento escarificador, ilustrados na Figura 28, obtiveram melhores resultados de calibração para os sensores ch2 e ch3 e pior valor de calibração para o sensor ch1 quando comparados com os dados coletados pela célula de carga.

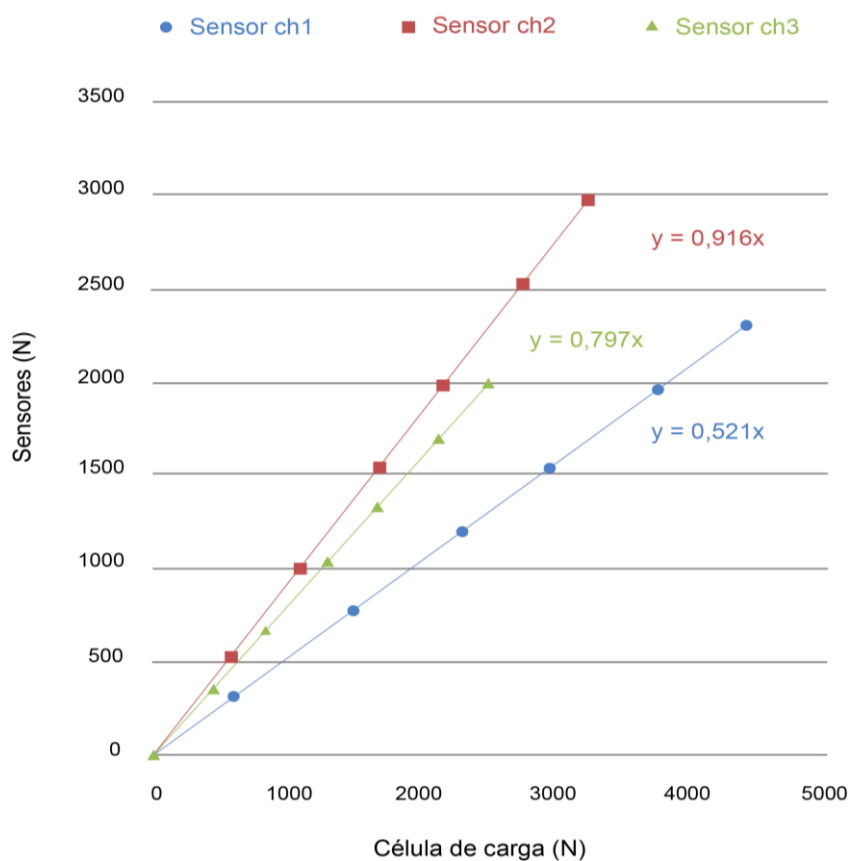


Figura 28. Resultados de calibração dos sensores do equipamento escarificador

### 6.3 Velocidade de deslocamento

A Tabela 8 apresenta os valores médios de velocidade operacional obtidos durante os ensaios. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos realizados mostrando que os valores de velocidade de deslocamento foram co-variáveis, sendo controladas e não influenciando nos resultados.

Tabela 8. Valores médios de velocidade de deslocamento  $\text{km.h}^{-1}$

Tratamento	Velocidade ( $\text{km.h}^{-1}$ )
1. Defletor plástico e profundidade de 15 cm	1,22
2. Defletor plástico e profundidade de 25 cm	1,23
3. Defletor plástico e profundidade de 35 cm	1,25
4. Defletor metálico e profundidade de 15 cm	1,28
5. Defletor metálico e profundidade de 25 cm	1,27
6. Defletor metálico e profundidade de 35 cm	1,33
7. Sem defletor e profundidade de 15 cm	1,30
8. Sem defletor e profundidade de 25 cm	1,33
9. Sem defletor e profundidade de 35 cm	1,31
Desvio Padrão	0,03
Média	1,28

### 6.4 Solo

A Tabela 9 apresenta os valores médios de umidade e densidade do solo seguidas dos valores de desvio padrão para as profundidades de trabalho de 15, 25 e 35 cm. Os valores não apresentaram diferenças significativas entre as profundidades para a caracterização de densidade do solo, contudo, verificou-se diferença significativa para a umidade. A Figura 29 apresenta os valores médios de resistência mecânica do solo à penetração.

Tabela 9. Valores médios e desvio padrão para umidade e densidade do solo

Profundidade	Variáveis	
	Umidade (%)	Densidade (g.kg <sup>-1</sup> )
15 cm	41,6 (0,75) a	0,69 (0,06) a
25 cm	43,3 (1,87) ab	0,70 (0,07) a
35 cm	44,9 (2,87) b	0,67 (0,09) a
P-valor	0,00	0,66

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5\%$ ).

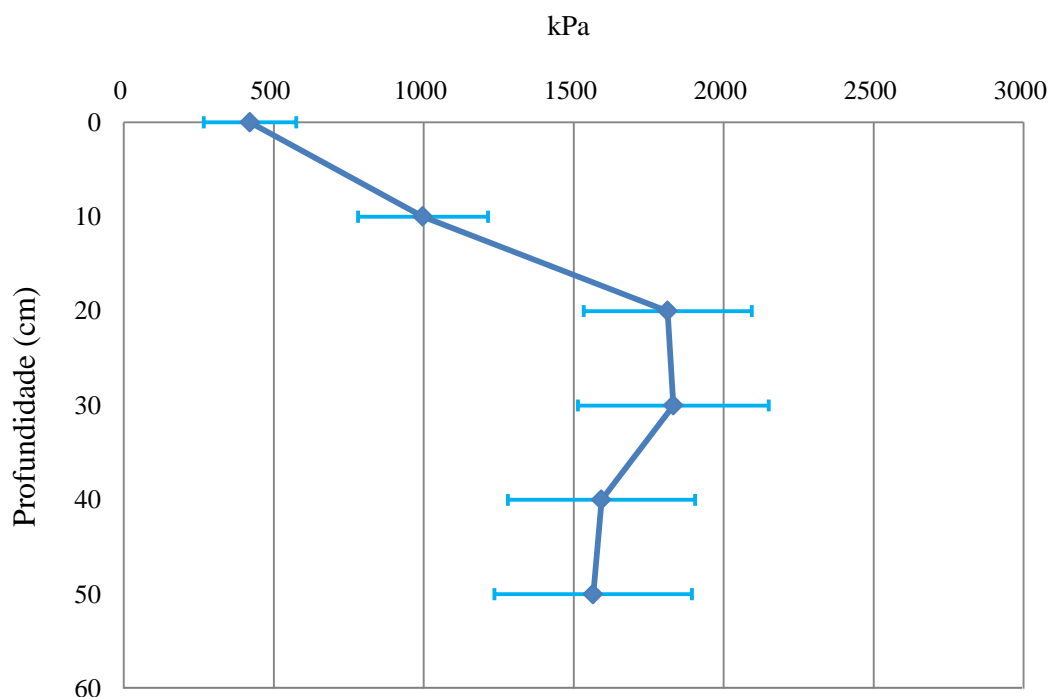


Figura 29. Valores médios seguidos do desvio padrão da resistência mecânica do solo à penetração

Solos *Andosols* (WRB-FAO, 2001) ou *Andisols*, segundo a Soil Taxonomy (1999), são solos que possuem um conjunto único de propriedades ândicas caracterizadas por elevado conteúdo de vidro vulcânico e alto teor de minerais amorfos ou malcristalizados de ferro e de alumínio. A combinação desses minerais com o elevado valor de matéria orgânica resulta em solos friáveis e macios, que são facilmente cultivados, e também têm alta capacidade de retenção de água.

Galindo e Bingham (1977) afirmam que os *Andosoils* são solos caracterizados por apresentarem elevado teor de matéria orgânica e boas propriedades físicas. Solos do tipo *Andosoils* não foram encontrados no Brasil e por isso não têm correspondentes no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006).

Quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade e maior é o teor de água. Isso foi observado em estudos com um mesmo solo, porém com diferentes teores de matéria orgânica (BALL et al., 2000; ARAGÓN et al., 2000), em estudos com diferentes solos de mesma textura e com teores de matéria orgânica diferentes (SILVA et al., 1986) e em estudos com a adição ao solo de material orgânico semidecomposto (STONE; EKWUE, 1993; ZHANG et al., 1997).

### 6.5 Força horizontal, vertical e resultante

Foram analisadas as forças horizontal, vertical e resultante em diferentes profundidades de trabalho variando-se os tipos de haste. A Tabela 10 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão das forças em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 15 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Figura 30).

Tabela 10. Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 15 cm

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (Fx)	Vertical (Fy)	Resultante (F)
Defletor plástico	878,89 (136,13)	336,90 (124,3)	947,08 (160,04)
Defletor metálico	947,02 (114,63)	345,00 (113,74)	1011,93 (138,93)
Sem defletor	863,59 (108,52)	347,78 (104,13)	935,20 (128,73)
P-valor	0,40	0,95	0,52
Total	896,50 (119,76)	343,22 (114,05)	964,73 (142,56)

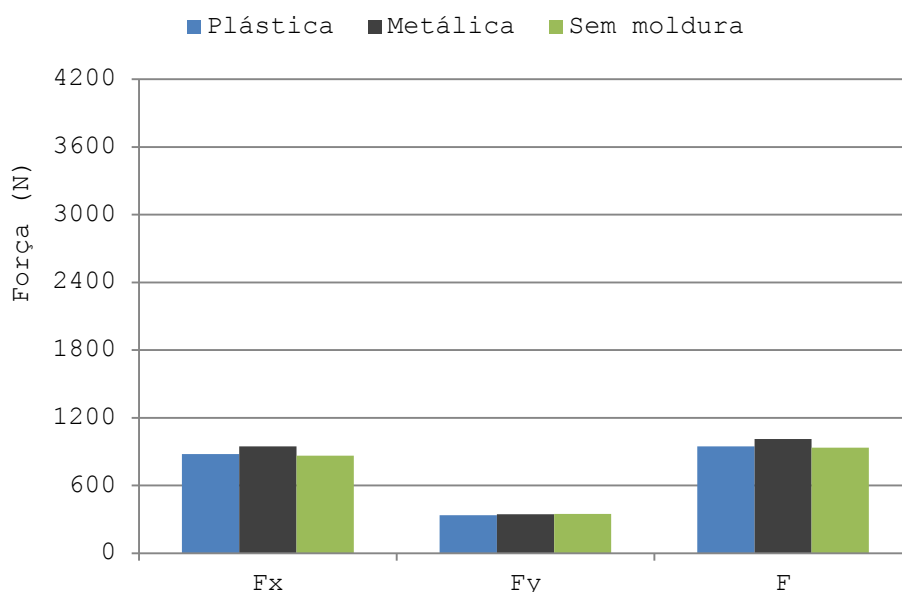


Figura 30. Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 15 cm

A Tabela 11 apresentam os valores médios seguidos pelos valores de desvio padrão da força horizontal, vertical e resultante em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 25 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de hastes (Figura 31).

Tabela 11. Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 25 cm

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (F <sub>x</sub> )	Vertical (F <sub>y</sub> )	Resultante (F)
Defletor plástico	1866,23 (175,30)	907,13 (183,46)	1739,02 (237,47)
Defletor metálico	2122,14 (179,17)	1042,82 (165,29)	1876,08 (217,54)
Sem defletor	2023,20 (150,25)	1188,04 (177,86)	2237,61 (206,00)
P-valor	0,19	0,09	0,19
Total	2003,85 (168,24)	1045,99 (175,53)	1950,90 (220,33)

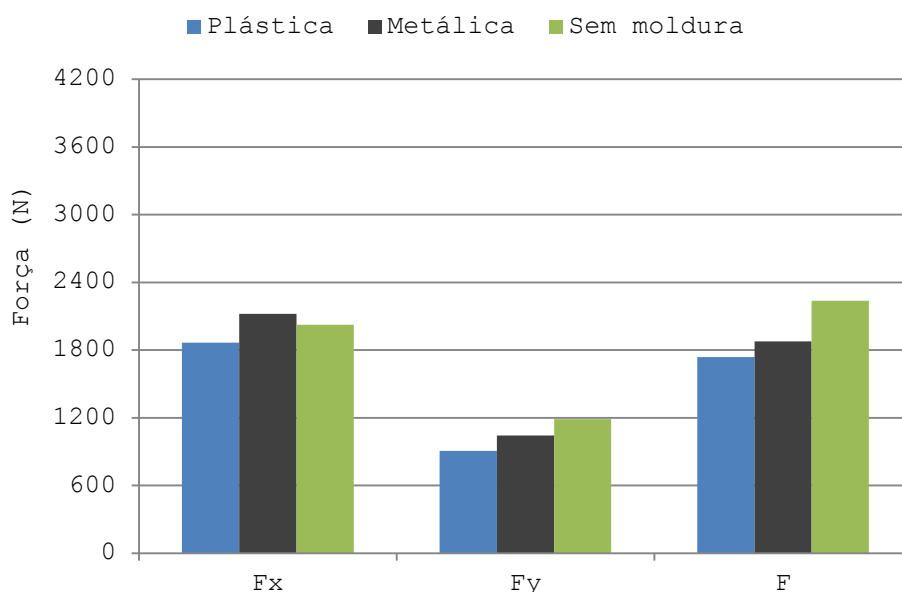


Figura 31. Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 25 cm

A Tabela 12 e Figura 32 apresentam os valores médios seguidos de valores de desvio padrão da força horizontal, vertical e lateral em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 35 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de hastes.

Tabela 12. Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 35 cm

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (F <sub>x</sub> )	Vertical (F <sub>y</sub> )	Resultante (F)
Defletor plástico	3133,52 (290,54)	1739,02 (261,42)	3587,62 (263,60)
Defletor metálico	3532,78 (249,93)	1876,08 (261,19)	4006,47 (246,01)
Sem defletor	3391,98 (299,02)	2237,61 (300,01)	4071,28 (319,31)
P-valor	0,42	0,15	0,40
Total	3352,76 (279,82)	1950,90 (274,20)	3888,45 (276,30)

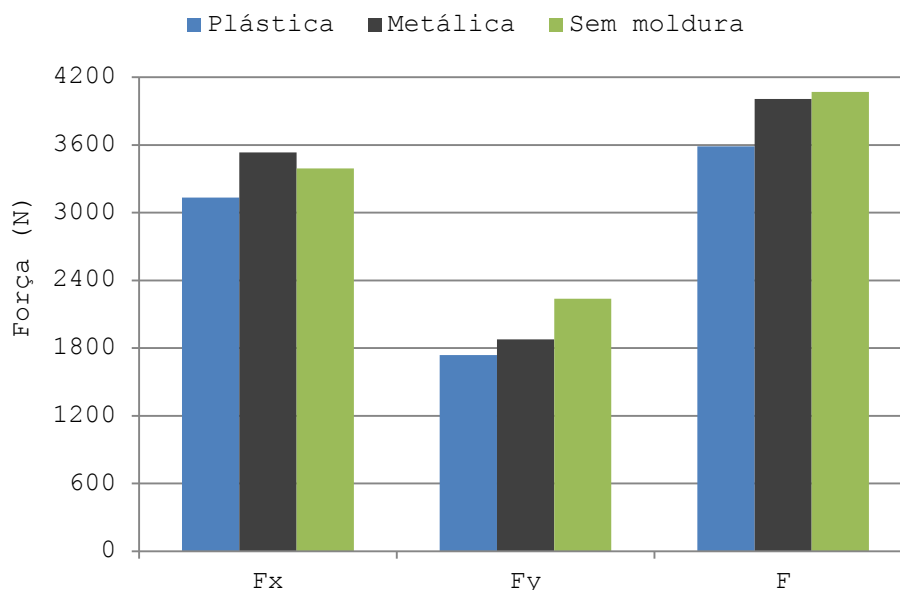


Figura 32. Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 35 cm

Os resultados corroboram com trabalho realizado por Harrison (1988) que utilizou um equipamento denominado “paraplow”, de hastes inclinadas lateralmente, e verificou que o mesmo provoca uma maior ruptura do solo através de tensões de tração quando comparados com os subsoladores convencionais, porém, a potência requerida não apresentou diferenças estatisticamente significativas.

Em trabalhos semelhantes, Silva et al. (1984) ao testarem várias configurações de hastes subsoladoras (reta, curva e parabólica), concluíram que a geometria não apresentou influência significativa no desempenho dos subsoladores.

Para Lanças (1987) a forma geométrica influi significativamente nos resultados de desempenho operacional, sendo que as hastes parabólicas demandam maior força de tração que as retas inclinadas.

Siqueira et al. (2001), comparando modelos comerciais de hastes, trabalhando à mesma profundidade, verificaram que a força de tração requerida varia muito, entre os diferentes modelos, devido ao ângulo de ataque, a largura da ponteira e ao formato da haste.

## 6.6 FunçãoAREF

Para utilizar a função AREF, foram verificados e analisados em uma primeira fase, todos os dados temporais coletados nas repetições e tratamentos propostos no trabalho. Verificou-se que os resultados temporais das operações de mobilização do solo, utilizando o equipamento escarificador *plowsoiler*, apresentaram resultados com padrões complexos e não lineares sugerindo a aplicação de uma análise de dados específica.

A Figura 33 ilustra o resultado do processamento dos dados temporais do sensor ch1, para o tratamento de haste com defletor plástico em profundidade de trabalho de 35 cm, como exemplo dos resultados de padrões complexos e não lineares.

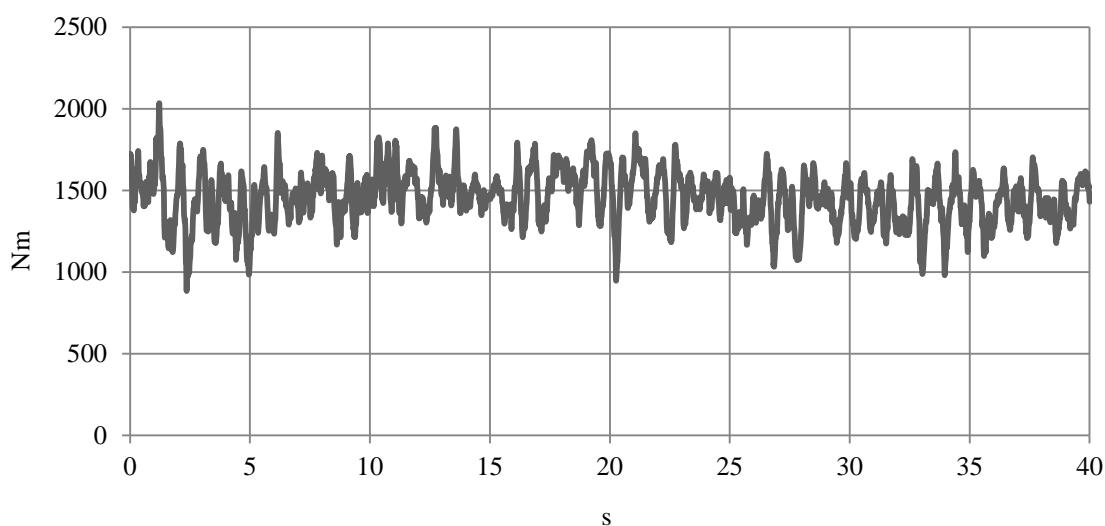


Figura 33. Gráfico dos dados temporais obtidos pelo sensor ch1

Para o mesmo tratamento, utilizou-se a função AREF no processamento dos dados onde foi possível encontrar padrões lineares nos resultados e identificar os parâmetros  $\alpha$  (intercepto do eixo y) e  $\beta$  (inclinação da curva) da função conforme ilustrado na Figura 34.

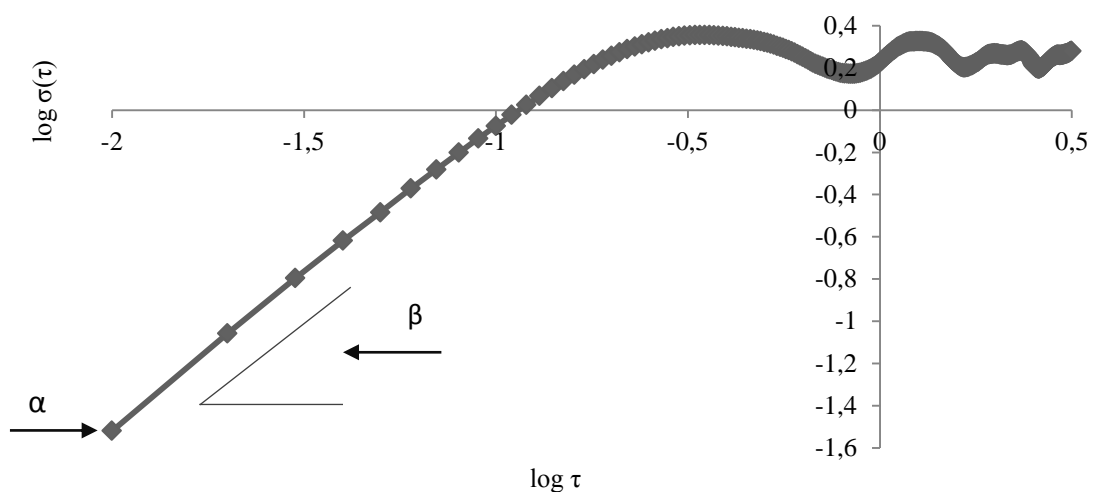


Figura 34. Gráfico da função AREF e os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$

A Figura 35 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch1 em diferentes profundidades de trabalho para haste com defletor plástico e a Figura 36 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch2.

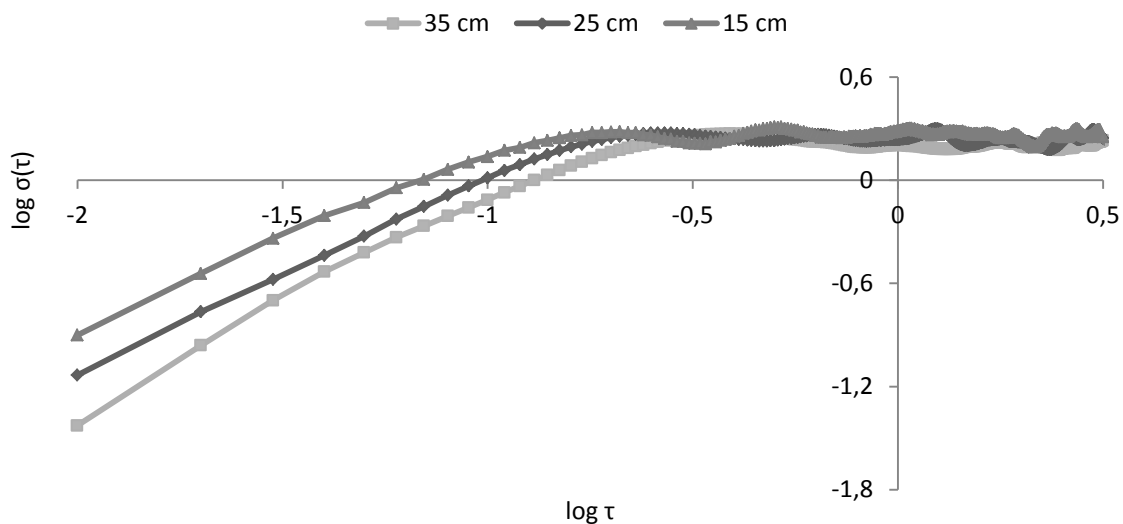


Figura 35. Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste com defletor plástico

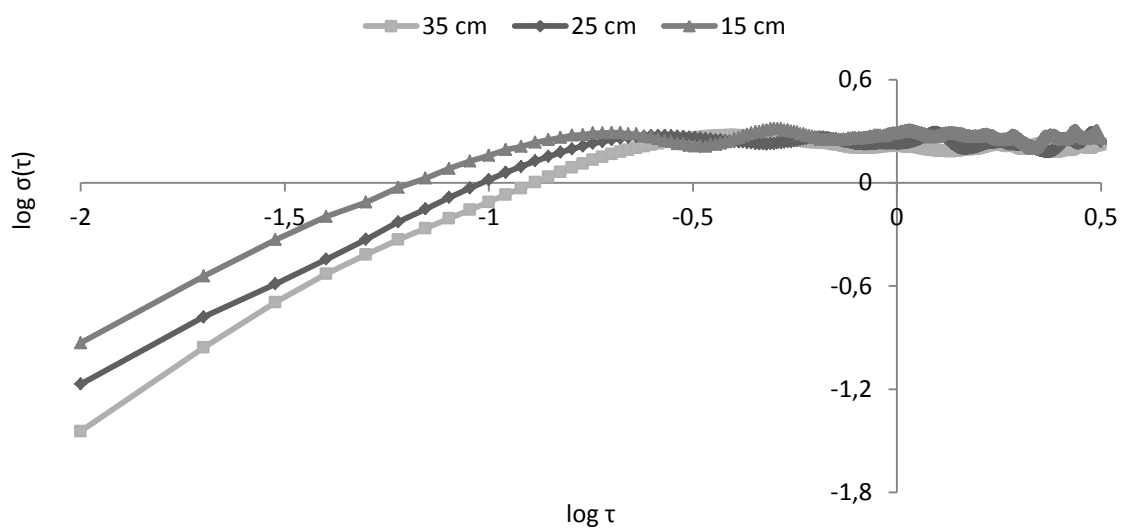


Figura 36. Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste com defletor plástico

A Figura 37 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch1 em diferentes profundidades de trabalho para haste sem defletor e a Figura 38 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch2.

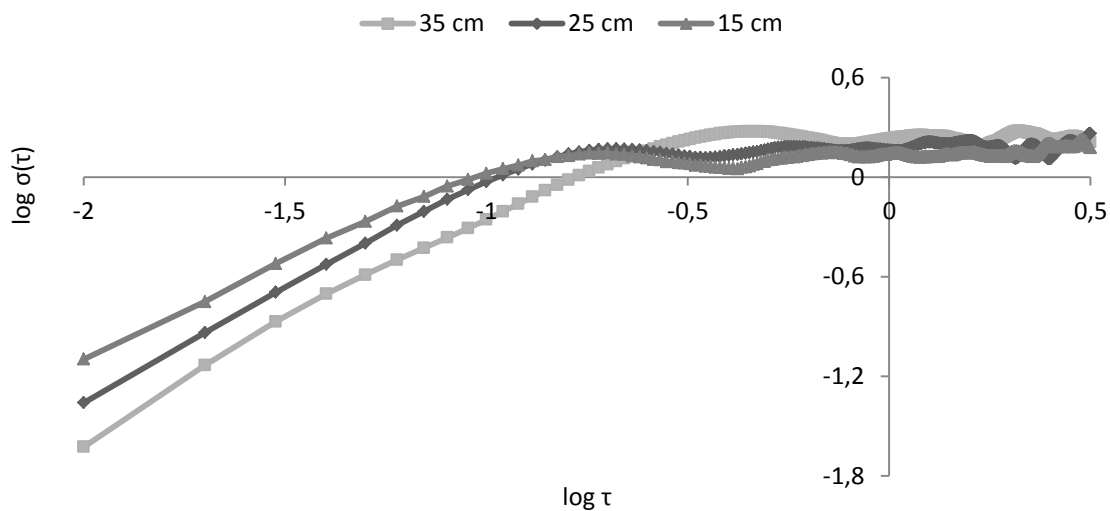


Figura 37. Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste sem defletor

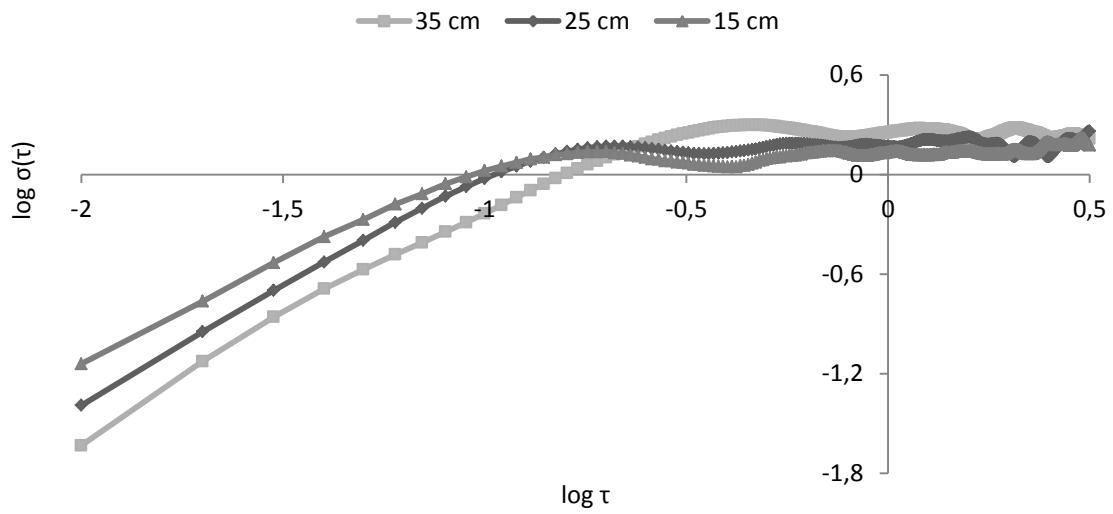


Figura 38. Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste sem defletor

A Figura 39 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch1 em diferentes profundidades de trabalho para haste com defletor metálico e a Figura 40 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch2.

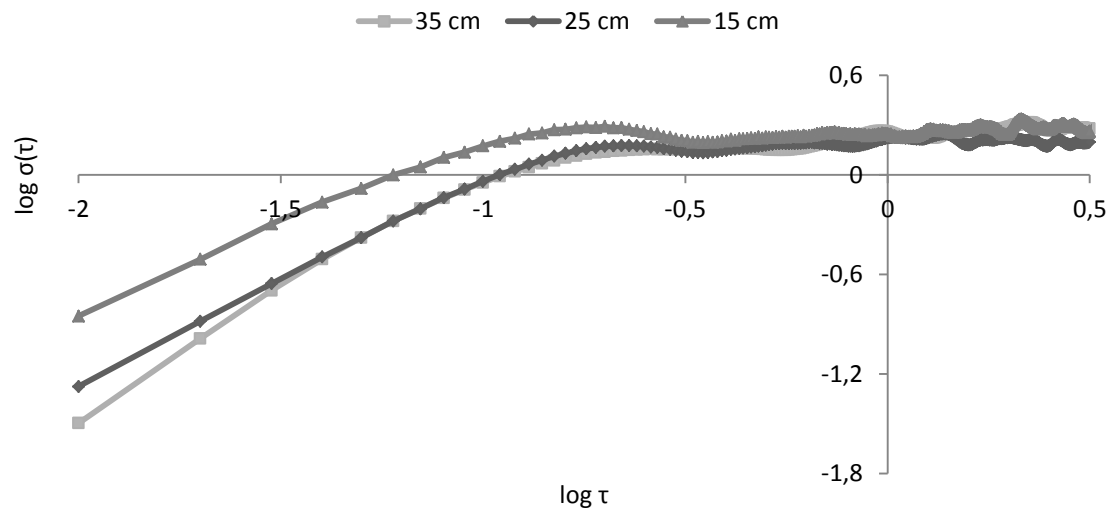


Figura 39. Gráfico da função AREF do sensor ch1 para haste com defletor metálico

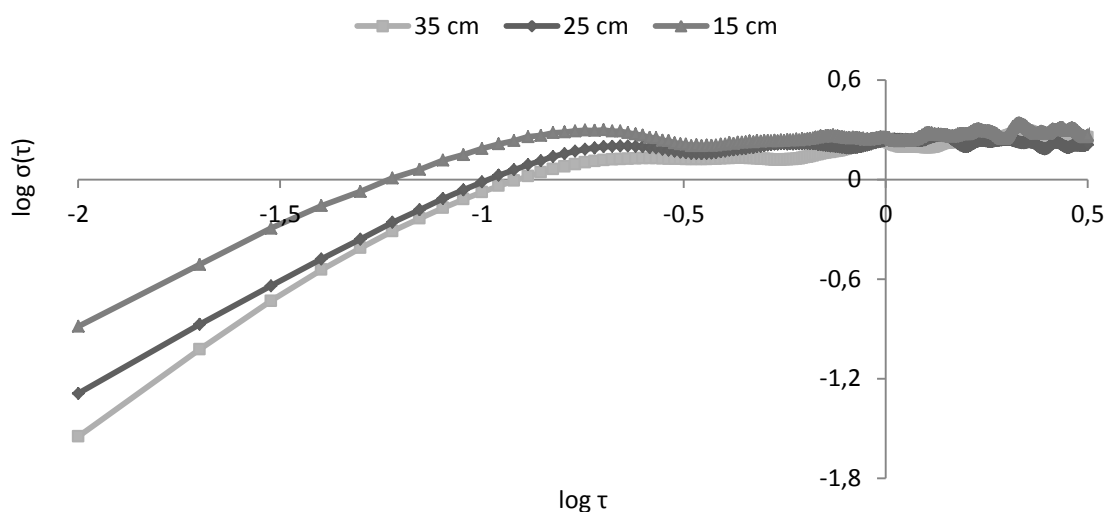


Figura 40. Gráfico da função AREF do sensor ch2 para haste com defletor metálico

Os gráficos obtidos pela função AREF apresentaram padrões de linearidade para todos os tratamentos realizados nos ensaios, sempre para intervalos do eixo de  $\log \tau$  menores que  $-1,0$ . Essa linearidade indica a presença de auto-similaridade nas forças de rompimento do solo onde os parâmetros de  $\alpha$  (intercepto do eixo  $y$ ) e  $\beta$  (inclinação da curva) podem ser estimados.

Os resultados obtidos corroboram com trabalho de Sakai et al. (2009) que utilizaram uma haste instrumentada para verificar as forças de rompimento do solo pela função AREF em solo *yolo loam* na Universidade da Califórnia, Davis. Os resultados encontraram linearidade para as quatro diferentes condições de solo utilizadas (seco preparado, úmido preparado, seco não preparado, úmido não preparado) para intervalos de  $\log \tau$  menores que  $-1,0$ .

Foram avaliados pela análise de variância pelo teste F, depois de verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ), os resultados dos parâmetros da função AREF  $\alpha$  (intercepto do eixo  $y$ ) e  $\beta$  (inclinação da curva) entre os sensores ch1 e ch2 para os diferentes tipos de haste e profundidades de trabalho.

A Tabela 13 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto  $y$  ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 15 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor).

Tabela 13. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 15 cm

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch1	1,24 (0,07)	1,09 (0,06)	1,16 (0,05)	1,06 (0,03)	1,31(0,09)	1,16 (0,02)
ch2	1,29 (0,06)	1,12 (0,05)	1,23 (0,05)	1,11 (0,05)	1,37 (0,09)	1,20 (0,02)
P-valor	0,51	0,59	0,26	0,22	0,61	0,19

A Tabela 14 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 25 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor).

Tabela 14. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 25 cm

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch1	1,26 (0,10)	1,20 (0,05)	1,16 (0,04)	1,21 (0,04)	1,33(0,03)	1,27(0,04)
ch2	1,31 (0,10)	1,24 (0,06)	1,22 (0,04)	1,24 (0,03)	1,36 (0,03)	1,30 (0,04)
P-valor	0,70	0,57	0,30	0,45	0,45	0,56

A Tabela 15 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 35 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor).

Tabela 15. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch1 e ch2 para profundidade de 35 cm

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch1	1,25 (0,10)	1,35 (0,05)	1,21 (0,17)	1,37 (0,06)	1,17 (0,10)	1,41 (0,05)
ch2	1,26 (0,10)	1,36 (0,05)	1,23 (0,15)	1,38 (0,06)	1,20 (0,16)	1,42 (0,04)
P-valor	0,86	0,86	0,91	0,81	0,87	0,72

Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em ambos os parâmetros da função AREF (intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ )) entre os sensores ch1 e ch2. Dessa forma, a utilização da função AREF torna-se independente de fatores como intensidade do sinal, posição na haste e calibração dos sensores.

Foram analisados os dados coletados pelos sensores ch4 e ch5 pela função AREF. A Figura 41 apresenta um gráfico dos dados temporais obtidos pelo sensor ch5 para o tratamento com haste de defletor metálico em profundidade de trabalho de 25 cm e a Figura 42 ilustra um gráfico com os resultados obtidos pela função AREF para o mesmo tratamento.

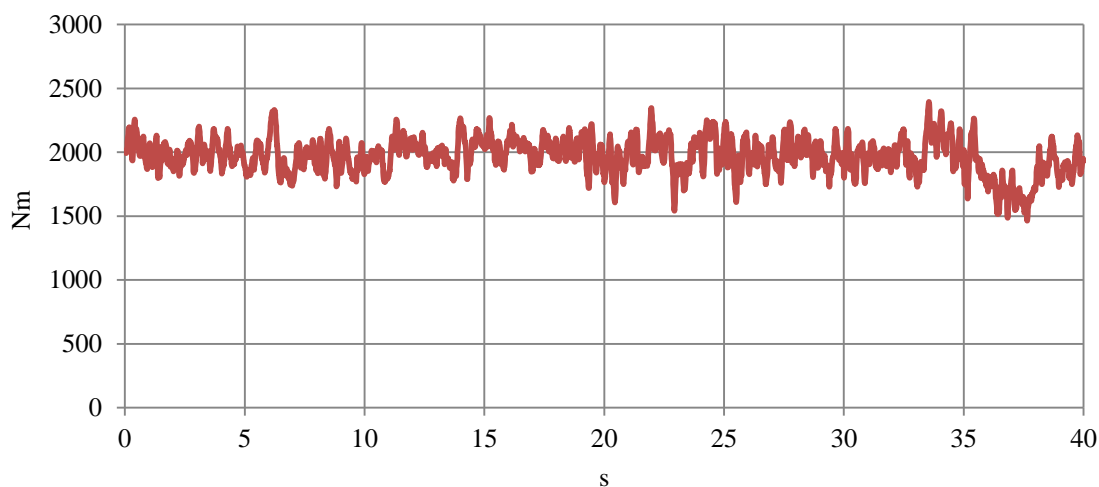


Figura 41. Gráfico dos dados temporais obtidos pelo sensor ch5

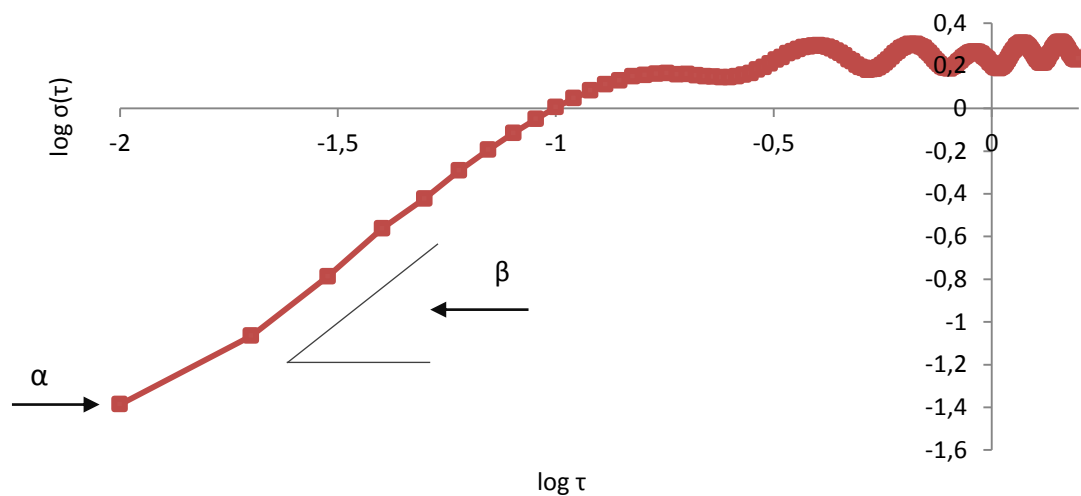


Figura 42. Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor metálico

A Figura 43 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch4 em diferentes profundidades de trabalho para haste com defletor plástico e a Figura 44 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch5.

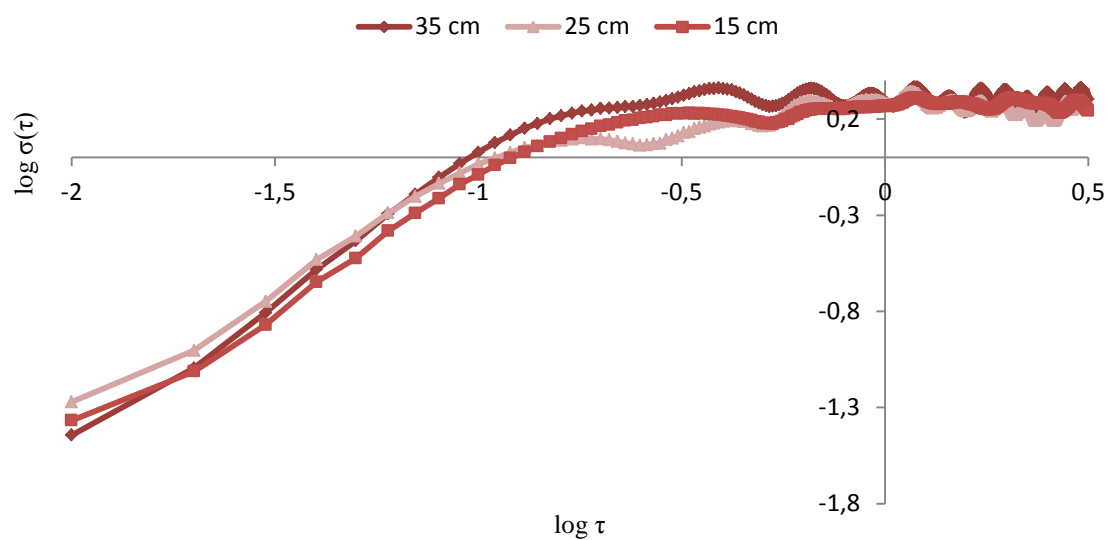


Figura 43. Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste com defletor plástico

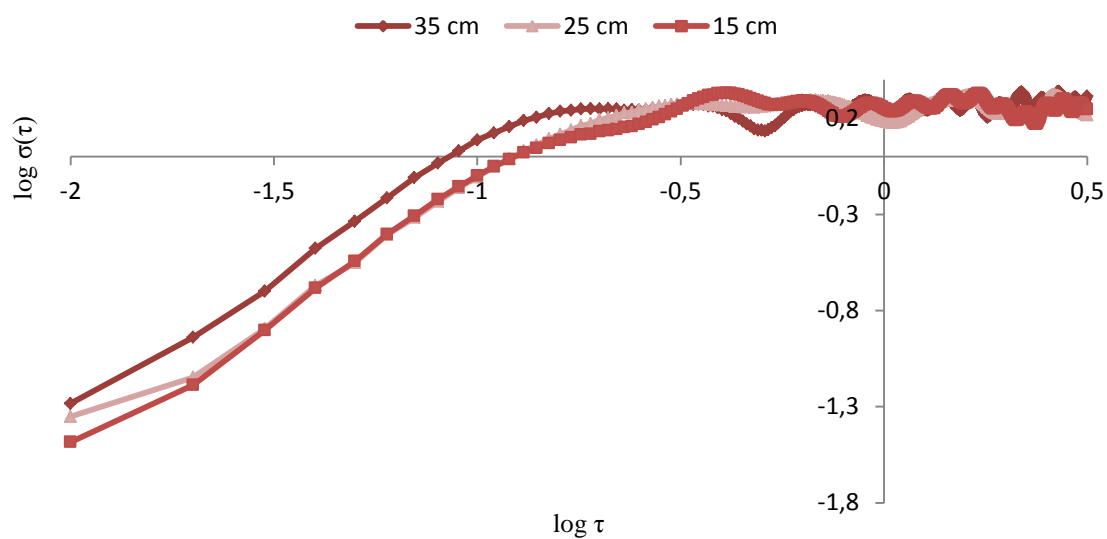


Figura 44. Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor plástico

A Figura 45 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch4 em diferentes profundidades de trabalho para haste com defletor metálico e a Figura 46 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch5.

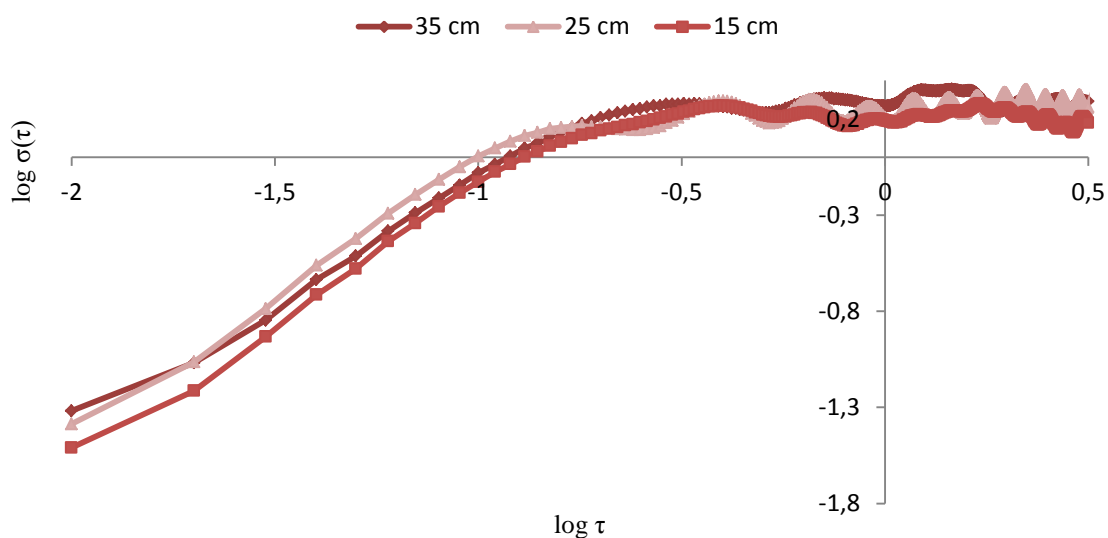


Figura 45. Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste com defletor metálico

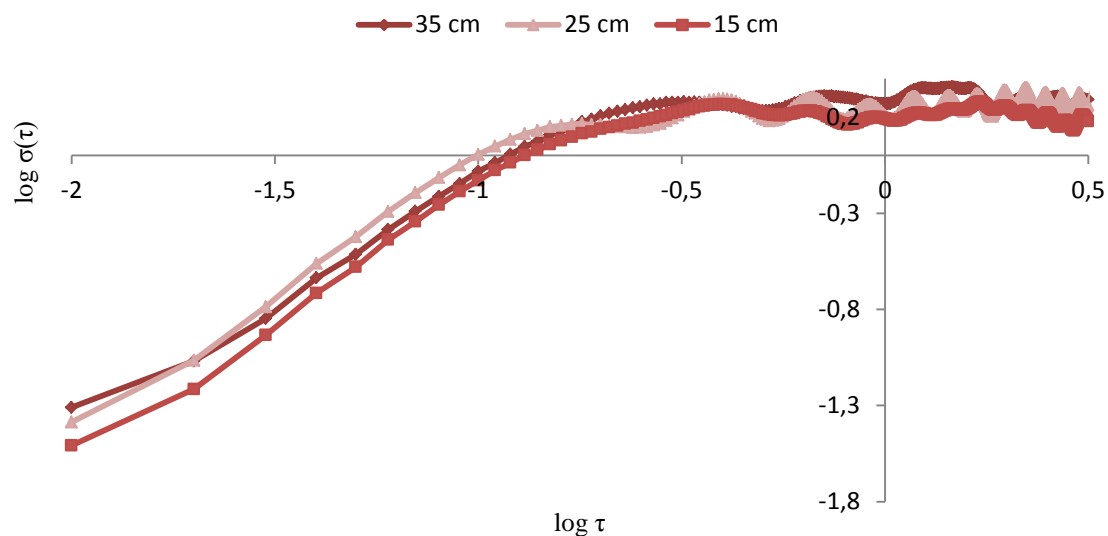


Figura 46. Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste com defletor metálico

A Figura 47 ilustra os resultados obtidos com o sensor ch4 em diferentes profundidades de trabalho para haste sem defletor e a Figura 48 ilustra os resultados obtidos sob as mesmas condições com o sensor ch5.

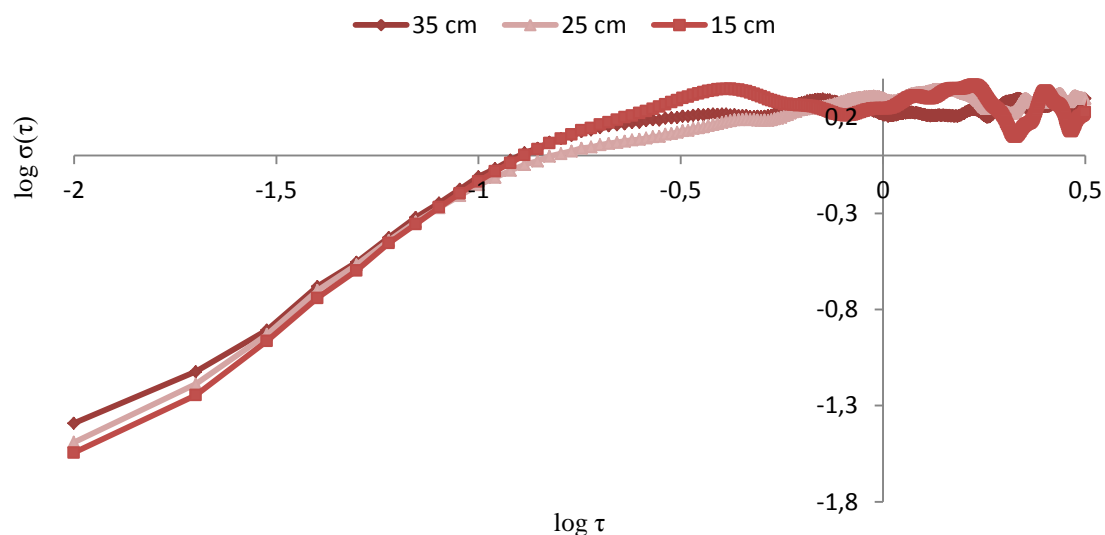


Figura 47. Gráfico da função AREF do sensor ch4 para haste sem defletor

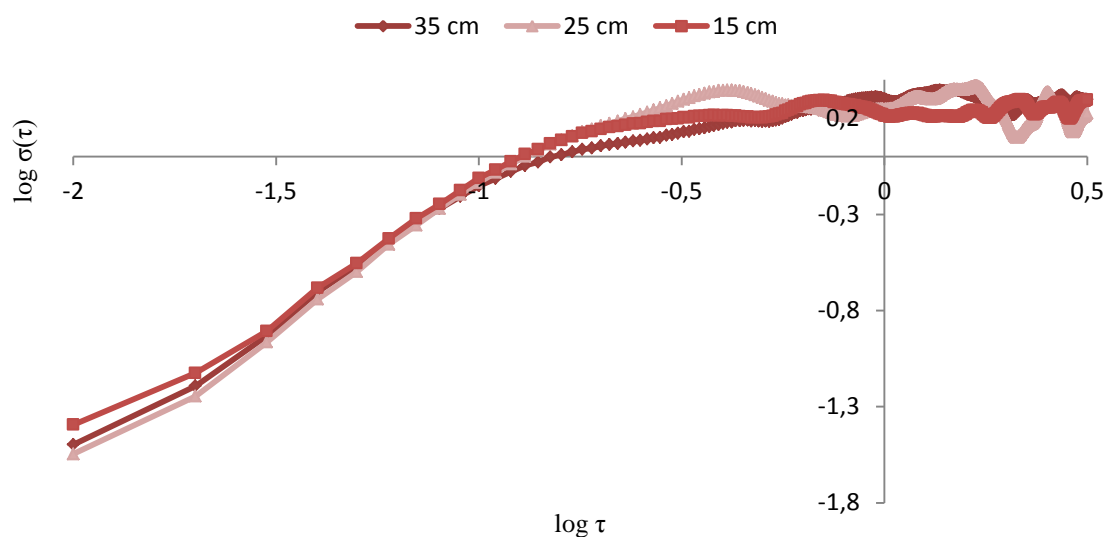


Figura 48. Gráfico da função AREF do sensor ch5 para haste sem defletor

Os resultados obtidos pela função AREF apresentaram padrões de linearidade para todos os tratamentos realizados nos ensaios utilizando os sensores nos intervalos de  $\log \tau$  menores que - 1,0.

Os resultados concordam com trabalho de Sakai et al. (2009) que utilizaram uma haste instrumentada para verificar o comportamento linear dos dados em operações de rompimento do solo utilizando a função AREF para intervalos de  $\log \tau$  menores que - 1,0

Foram avaliados pela análise de variância pelo teste F, depois de verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ), os resultados dos parâmetros da função AREF  $\alpha$  (intercepto do eixo y) e  $\beta$  (inclinação da curva) entre os sensores ch4 e ch5 instalados no eixo dianteiro direito e esquerdo do trator agrícola.

A Tabela 16 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 15 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor) entre os sensores ch4 e ch5.

Tabela 16. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 15 cm.

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch4	1,40 (0,11)	1,41 (0,04)	1,42 (0,09)	1,34 (0,04)	1,10 (0,09)	1,28 (0,04)
ch5	1,41 (0,11)	1,41 (0,04)	1,10 (0,05)	1,27 (0,02)	1,39 (0,13)	1,34 (0,04)
P-valor	0,98	0,96	0,95	0,99	0,80	0,97

A Tabela 17 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 25 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor) entre os sensores ch4 e ch5.

Tabela 17. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 25 cm.

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch4	1,26 (0,04)	1,34 (0,03)	1,305 (0,14)	1,359 (0,08)	1,403 (0,10)	1,405 (0,00)
ch5	1,25 (0,03)	1,33 (0,03)	1,30 (0,14)	1,35 (0,08)	1,40 (0,10)	1,41 (0,00)
P-valor	0,92	0,95	0,98	0,99	0,98	0,99

A Tabela 18 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão dos parâmetros intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ ) da função AREF obtidos com profundidade de trabalho de 35 cm para os diferentes tipos de haste (defletor plástico, defletor metálico e sem defletor) entre os sensores ch4 e ch5.

Tabela 18. Valores médios e desvio padrão de ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ) dos sensores ch4 e ch5 para profundidade de 35 cm.

Sensores	Tipo de haste					
	Defletor plástico		Defletor metálico		Sem defletor	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
ch4	1,37 (0,15)	1,45 (0,05)	1,19 (0,10)	1,38 (0,09)	1,19 (0,11)	1,35 (0,09)
ch5	1,37 (0,14)	1,45 (0,05)	1,19 (0,10)	1,37 (0,09)	1,19 (0,10)	1,35 (0,09)
P-valor	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,99

Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas para ambos os parâmetros da função AREF (intercepto y ( $\alpha$ ) e inclinação da reta ( $\beta$ )) entre os sensores ch4 (instalado no eixo dianteiro do lado direito do trator) e ch5 (instalado no eixo dianteiro do lado esquerdo do trator). Os resultados comprovam que a utilização da função AREF independe de fatores como a posição na qual os sensores foram instalados, bem como sua anterior calibração.

## 7 CONCLUSÃO

A instrumentação do equipamento *plowsoiler* permitiu uma análise em propagação tridimensional para as forças de mobilização do solo em ensaios com operações de escarificação.

Não houve diferença significativa nas forças de mobilização do solo para os três modelos de hastes estudadas (com defletor plástico, com defletor metálico e sem defletor) em todas profundidades de trabalho de 15, 25 e 35 cm.

Para todos os tratamentos, a função AREF apresentou padrões de linearidade nos resultados obtidos nas forças de mobilização do solo, para intervalos de  $\log \tau$  menores que - 1,0. Essa linearidade possibilitou a identificação dos parâmetros de  $\alpha$  e  $\beta$  da função.

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da função apresentaram valores estatisticamente iguais entre os canais sensores instalados na haste do equipamento e entre os canais sensores instalados no eixo do trator. Verificou-se a partir dos resultados que essa função independe da calibração e da intensidade do sinal gerado pelos sistemas sensores.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMCHUK, V.I.; MOLIN, J. P. Hastes instrumentadas para mensuração da resistência mecânica do solo. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP, v.26, n.1, p. 161-169 2006. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162006000100018&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162006000100018&script=sci_arttext) >. Acesso em: 4 jan. 2013.

ADAMCHUK, V.I.; SUDDUTH, K. A.; INGRAM, T.J.; CHUNG, S.O. Comparison of two alternative methods to map soil mechanical resistance on-the-go. **ASABE**, St Joseph, 2006. 11 p. (ASAE Paper No. 061057)

ADAMCHUK, V.I.; MORGAN, M.T.; SUMALI, H. Application of a strain gauge array to estimate soil impedance on-the-go. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.44, n.6, p.1377-83, 2001.

ALIHAMSYAH, T.; HUMPHRIES, E.G.; BOWERS JR, C.G. A technique for horizontal measurement of soil mechanical impedance. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.33, n.1, p.73-7, 1990.

ALVARENGA, R. C. et al. Cultura do milho: manejo de solos. **Sistemas de produção 2**. Sete Lagoas. 4. ed. set. 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br>>. Acesso em: 08 fev. 2010.

ALVES, W. P. **Delphi 2005: aplicações de banco de dados com InterBase 7.5 e MySQL 4.0.23**. São Paulo: Érica, 2005. 544p.

AL-JANOBI, A., A data-acquisition system to monitor performance of fully mounted implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London: Academic Press, v.75, n. 2, p. 167-175, 2000.

ANDRADE-SANCHEZ, P., UPADHYAYA, S. K., JENKINS. B. Development, construction, and field evaluation of a soil compaction sensor. **Trans ASABE** 50(3): 719-725. 2006.

ANDRADE-SANCHEZ, P.; ROSA, U.; UPADHYAYA, S.; JENKINS, B.; AGUERA, J.; JOSIAH, M. Soil profile force measurements using an instrumented tine. St. Joseph: **ASAE**, 2001. 10 p. (ASAE Paper No. 011060).

ANDRADE-SANCHEZ, P., MITCHELL, S., UPADHYAYA, S. K., JENKINS. B. Soil strength dynamics under different management systems. **ASAE paper** No. 00-2156. St. Joseph, Mich.: ASAE. 2000.

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

ARAGÓN, A.; GARCÍA, M.G.; FILGUEIRA, R.R.; PACHEPSKY, Ya. A. Maximum compactability of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. **Soil Tillage Research**. v.56, p.197-204, 2000.

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto: Problemas e soluções. **Informativo de Pesquisa do Instituto Agrônomo do Paraná**, Paraná, n.137, 2001, 18 p.

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

ARGYRIS, J.; FAUST, G.; HAASE, M. **An exploration of chaos**. North-Holland: Amsterdam, 1994.

ATARÉS, P. A. Potencia de los tractores agrícolas: Resumen de los datos de los ensayos OCDE realizados en los años 1997, 1998, 1999 y 2000. 2001. **Boletim Especial da Associação Empresarial Agropecuária**, Huesca, n.11, 2001. 20 p.

BAIO, F.H.R., **Metodologia para ensaio de sistemas de direcionamento vai satélite em percursos retos e curvos**. 2005. 100 f. Tese (Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.R.; BALASTREIRE, L. A.; CAIXETA FILHO, J.V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barra. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.24, n.2, p.335-363, maio/ago 2004.

BALL, B.C.; CAMPBELL, D.J.; HUNTER, E.A. Soil compactability in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. **Soil Tillage Res.**, 57:83-91, 2000.

BARUQUI, F.M.; FERNANDES, M.R. Práticas de conservação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.11, 1985. 14p.

BERGTOLD, J. S.; RAPER, R. L.; SCHWAB, E. B. The economic benefit of improving the proximity of tillage and planting operations in cotton production with automatic steering. **Applied Engineering in Agriculture**, v.25, p.133-143. 2009.

BUKTA, A.J., SAKAI, K., SASAO, A., SHIBUSAWA, S. Free play as a source of non linearity in tractor-implement system during transport. **Trans ASAE** 45(3): 503-508. 2002.

CALOURO, F. **Conservação do solo e da água: manual básico de práticas agrícolas**. Maringá, Ed. Inga, 2010. 79p.

CAMPOS, F. H. **Desenvolvimento de um programa computacional destinado à unidade móvel de ensaio na barra de tração (UMEB) para a avaliação do desempenho de tratores**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CARDOSO, V. M. F.; LANCAS, K. P.; SILVA, R. B. Sustentabilidade estrutural de um solo na região do Alto Paranapanema/ SP, submetido a dois sistemas de cultivo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.23, n.3, p.108-142, 2008.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 229-237, 2007.

CEPIK, C.T. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho**. 2002. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CORTES, E. A. M. **Aportes y limitaciones de la mecanización agrícola al desarrollo del sector agropecuario y rural.** 2006. Disponível em: <[http://www.agro.unalmed.edu.co/departamentos/iagricola/docs/aportes\\_y\\_limitaciones\\_mec\\_agricola.pdf](http://www.agro.unalmed.edu.co/departamentos/iagricola/docs/aportes_y_limitaciones_mec_agricola.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2013.

DEVLIN, G. J.; MCDONNELL, K. P.; WARD, S. M. Performance accuracy of low-cost dynamic non-differential GPS on articulated trucks. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, p.273-279. 2007.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F. COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p.653-658, 2008.

EDWARDS, W.; WILLIAMS, D. **Machinery Management - Farm Machinery Selection.** Disponível em: <<http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM952.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2007. 8p.

EHRHARDT, J.P.; GRISSO, R.D.; KOCHER, M.F.; JASA, P.J.; SCHINSTOCK, D.J.L. Using the Veris electrical conductivity cart as a draft predictor. St. Joseph: **ASAE**, 2001. 15 p. (ASAE Paper No. 011012).

ELBESTAWI, M. A., Force Measurement. In: WEBESTER, J. G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Boca Raton: CRC Press LLC, New York, 1999. v.1, cap. 4, p. 23 - 38.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M. da; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p. 1582-1587, 2008.

FERREIRA, M. T. **Métodos lineares e não-lineares de análise de séries temporais e sua aplicação no estudo da variabilidade da frequência cardíaca de jovens saudáveis.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

FIORESI, D.A.; DALLMEYER, A.U.; ROMANO, L.N.; SCHLOSSER, J.F.; MACHADO, P.R.M. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. **Revista Rural**. v. 42, n. 4, p. 660-666, 2012.

FONSECA, I. M. **Sensores, transdutores e conectores**, 2009. Disponível em <[www2.dem.inpe.br/ijar/SenTrand3.pdf](http://www2.dem.inpe.br/ijar/SenTrand3.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2013.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. da. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 458-464, 2005.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do manejo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

GABRIEL FILHO, A. et al. Sistema informatizado para seleção e custo de uso de equipamentos de preparo do solo. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA. 2000. Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação ABC, 2000, p.1-7. Disponível em: < [http://infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info\\_047.pdf](http://infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_047.pdf) >. Acesso em: 16 dez. 2013.

GALINDO, G. G.; BINGHAM, T.: Homovalent and heterovalent cation exchange equilibria in soils with variable surface charge, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 41, 833–866, 1977.

GAMERO, C.A. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“PARAPLOW”), em função de diferentes velocidade de deslocamento e profundidade de trabalho**. 2008. 72 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

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.

GARCIA, L. C. et al. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p. 520-527, maio/ago. 2006.

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.

GIBOSHI, M. L. **Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra**. 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Produção Agropecuária) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

GILLES, L. et al. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n.5, p. 1427-1440, 2009.

GIRARDELLO, V.C. **Qualidade física de um latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GLANCEY, J.L.; UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J.; RUMSEY, J.W. Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.37, n.1, p.47-65, 1996.

GLANCEY, J. L., UPADHYAYA, S. K. An improved technique for agricultural implement draught analysis. **Soil and Tillage Res.** 35 (4): 175-182. 1995.

GLANCEY, J.L.; UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J.; RUMSEY, J.W. An instrumented chisel for the study of soil tillage dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.14, n.1, p.1-24, 1989.

GLASS, L.; MACKEY, M. C. **Dos Relógios ao Caos: os Ritmos da Vida**. São Paulo: EDUSP, 1943. 264p.

GUADAGNINI, P. H.; ROCHA F. S.; BARLETTE, V. E. Projeto de um sensor eletrônico baseado em extensometria para medição de força. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 5, n. 4, p.752-762, 2011.

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. 91 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

GUIBOSHI, M.L.; RODRIGUES, L.H.A.; LOMBARDI NETO, F. Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.861-866, out./dez., 2006.

HARRISON, H. P. Soil reacting forces for a bentleg plow. *Trans. ASAE*. 31(1): 47 – 51, 1988.

HIRSH, M.W.; SMALE, S. *Differential Equations, Dynamical Systems, and Linear Algebra*, **Academic Press**, Orlando. 1974.

HOFFMANN, K. An introduction to measurements using strain gages. *Strain: an International Journal for Experimental Mechanics*, Cambridge, v.37, n.3, p. 86 – 137, ago. 2001.

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

INAMASU, R. Y., SOUSA, R. V., PORTO, A. J. V., FORTES, C., LUCHIARI, A., SCHEPERS, J. S., SHANAHAN, J. F., FRANCIS, D. D. Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP, 2006.

JESUS, J. C. S; ZAMBALDE, A L; *Informática na Agropecuária: Hardware, Software e Recursos Humanos*. In: AGROSOFT 99 – FEIRA E CONGRESSO DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1999, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Softex 2000, 1999. 1 CD-ROM.

JUNIOR, P. V., NEVES, A. A. C., ALMEIDA, B. K. Modernização de máquinas de laboratórios de engenharia para atender as atuais práticas metodológicas de experimentações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 34, 2006, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006. CD-ROM.

KERNICK, D. New perspectives for cardiology from chaos theory. **The British Journal of Cardiology**, v.13, p.44–46, 2006.

KICHLER, C. M. et al. Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, n. 071028. 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p. 959-964, 2000.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; BERTON, A.L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19).

KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. 1996. Tese. 134 f. (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

LANÇAS, K. P. Subsolagem ou escarificação. **Cultivar Máquinas**. Pelotas. v.1, n.14, p.34-37, 2002.

LANÇAS, K. P. **Subsolador**: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes. 1988. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

LANÇAS, K. P. **Subsolador**: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidade de deslocamento. Botucatu, 1987. 112 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1987.

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.

LINS, H. W. C. **Especificação e Implementação de uma Linguagem para Transformação de Modelos MOF em Repositórios dMOF**. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em telemática) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

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

LIU, W., UPADHYAYA, S. K., KATAOKA, T., SHIBUSAWA, S. Development of texture/soil compaction sensor. **In Proc.** 3<sup>rd</sup> Intl. Conf. on Precision Agriculture, 617-630. Minneapolis, Minn. 1996.

LORENZ, E. N. Deterministic Nonperiodic Flow. **Journal of The Atmospheric Sciences**, v.20, n.19, p.130–141, 1963.

MACHADO, J. G. C. F.; NANTES, J. F. D.; ROCHA, E. C. O processo de informatização das propriedades rurais: um estudo de multicaso na pecuária de corte. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Viçosa, MG, v. 4, n. 1, p. 28-46, 2002.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para Preparo do Solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais**. 1. ed. Pelotas: Universitária/ UFPel, 1996. 229p.

MACHADO, T. M. **Hastes instrumentadas com controle automatizado do escarificador atuando em profundidades variáveis.** 2013. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

MACMILLAN, R.H. **The Mechanics of Tractor - Implement Performance: Theory and Worked Examples.** Melbourne, 2002. 165 p.

MANOR, G.; CLARK, R.L. Development of an instrumented subsoiler to map soil hard-pans and real-time control of subsoiler depth. St. Joseph: **ASAE**, 2001. 17 p. (ASAE Paper No. 011022).

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., 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.

MASIERO, F.C., LANÇAS, K.P., MARASCA, I., RAMOS, C.R.G., MONTANHA, G. K., LYRA, G.A. Prova de Rendimento. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, RS, v.11, p.31-33, 2012.

MATOS, M. A. **Modelo informatizado para o planejamento operacional e econômico de sistemas mecanizados com a consideração da pontualidade.** 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

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.

MCLAUGHLIN, N. B. et al. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 51, n. 4, p. 1153-1163, 2008.

MCKYES, E. **Soil cutting and tillage: developments in agricultural engineering.** Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985. 217p.

MELLO, B. A., CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para a agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. V. 12, n. 6, p.666-675, 2008.

MENDONÇA, F. C. **Evolução da Informática na agropecuária brasileira e suas tendências**. 1995. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica), Universidade Federal de São Carlos, 1995.

MERCANTE, E.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J.A.; GABRIEL FILHO, A.; URIBE OPAZO, M.A. Praprag – software para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.322-333, mar/abril 2010.

MOLIN, J. P.; SOUZA, A. B. M.; FONTANA, G.; NAGUMO, G. K. Análise comparativa de sensores de velocidade de deslocamento em função da superfície. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.768-773, 2005.

MOLIN, J. P., MENEGATTI, L. A. A. Mapeamento da resistência elétrica do solo por sensor de contato. In: SIMPÓSIO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002, Piracicaba. **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no Período de 1999-2001**. Piracicaba : USP/Esalq, 2002. p. 144-150.

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

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

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.

MORRIS, A. S., **Measurement and instrumentation principles**, 3rd Ed. Butterworth Heinemann, Oxford, 2001, p. 120.

MAZETTO, F.R.; LANÇAS, K.P.; NAGAOKA, A.K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S.P.S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v.24, n.3, p.750-757, 2004.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100 f. Tese (Livre-Docência em Mecânica e Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MONTANHA, G. K., GUERRA, S. P. S., ANDRADE, S. P., HEUN, J., LANÇAS, K.P. Consumo de Combustível de um Trator Agrícola em Função do Tipo de Solo e da Pressão de Inflação nos Pneus utilizando Equipamento Canteirador. **Energia na Agricultura** (UNESP. Botucatú. CD-Rom), v.27, p.44-59, 2012.

MONTANHA, G. K., GARCIA, E. A., ANDRADE, S. P., CAMPOS, F. H., LANÇAS, K.P. Consumo de Combustível de um Trator Agrícola no Preparo do Solo para a Cultura do Algodão Irrigado em Função da Pressão de Inflação nos Pneus. **Energia na Agricultura** (UNESP. Botucatu. Impresso), v.26, p. 39-51, 2011.

MONTANHA, G. K. Agricultura de Precisão Reduz Perdas na Lavoura de Cana. **Revista Campo e Negócios**. Uberlândia - MG, p.1 - 8, 2010a.

MONTANHA, G. K. **Avaliação do consumo energético no preparo de solo para a Cultura do algodão irrigado**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010b.

MONTANHA, G. K., GUERRA, S. P. S., ANDRADE, S. P., HEUN, J. Desenvolvimento de uma planilha eletrônica para processamento de dados adquiridos por sensores ópticos na agricultura de precisão In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 2009, Viçosa. SBIAgro 2009 : **Anais 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 2009.

MONTEIRO A.M. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 tda com motores de 132 kW em pista concreto e solo agrícola**. 2011. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P., CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, p.137-145, 2009.

NETO, C.; PINTO, P. A.; COELHO, J. P. P. **Tecnologias de informação e comunicação e a agricultura**. SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação. Ed. Principia, Publicações Universitárias e Científicas. Porto. 1. Ed. 2005. 104 p.

NOGUEIRA, A. C. L. **Agricultura: a mecanização no agronegócio brasileiro**, Análise de Conjuntura, São Paulo, v.1, n.1, p. 3-5, nov., 2012. Disponível em <[http://www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2012/11\\_3-5-agr.pdf](http://www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2012/11_3-5-agr.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2013.

NØRREMARK, M.; GRIEPENTROG, H. W.; NIELSEN, J.; SØGAARD, H. T. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. **Biosystems Engineering**, v.101, p.396-410. 2008.

OTA (United States Office of Technology Assessment). **Technology, public policy and the changing structure of American Agriculture**. Washington: U.S. Government Printing Office (OTA-F-225), 1986.

OTA (United States Office of Technology Assessment). **A new era for American Agriculture**. Washington: U.S. Government Printing Office. 1992.  
PEREIRA, D. F., NÃÃS, I. A., BERTOLA, J. R. M., MATA, D. H., MANTOVANI, E. C. Programa computacional de simulação da produtividade para suporte de decisão no plantio de milho. In: **Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão**, 3, 2005, Sete Lagoas.

PIACENTINIL L.; SOUZA E. G. ; URIBE-OPAZO M. A.; NÓBREGA L. H. P.; MILAN M. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícola - MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.32, n.3, p.609-623, 2012.

PIQUEIRA, J.R.C.; Novas ordens econmicas no terceiro mundo: uma abordagem via sistemas dinâmicos. **Eletrônica Informação e Cognição**, São Paulo, 2000, v.2, n.1, p.28-26.

PUIG, D.F. **Sistemas Dinâmicos Não-Lineares e Organicidade no Material Musical**. 2013. Disponível em: <<http://gsd.ime.usp.br/sbcm/2005/papers/short-13855-revised.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2013.

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

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAPER, R.L.; WASHINGTON, B.H.; JARRELL, J.D. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 287-90, 1999.

ROCHA, J. A. M. R. **Livro GPS – Uma abordagem prática**. 3 ed. Recife: Edições Bagao, 2002. 235 p.

RODRIGUES, R. A. F. **Efeitos de tipos de manejos nos seus atributos físicos do solo e nas características fenológicas e produtividades do arroz de terras altas irrigado por aspersão.** 2001. 75 f. Tese (Livre Docência)–Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ROSA, D. P. **Comportamento Dinâmico e Mecânico do Solo sob Níveis Diferenciados de Escarificação e Compactação.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ROSA, V.T. **Tempo de implantação do sistema plantio direto e propriedades físicomecânicas de um Latossolo.** 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

RUELLE, D.; TAKENS, F. On the nature of turbulence. **Communications in Mathematical Physics**, v.20, p.167–192, 1971.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas.** 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SAKAI, K. Nonlinear Dynamics in Tillage Studies. In: UPADHYAYA, S. K. **Advances in Soil Dynamics Volume 3**, ASABE, St. Joseph, 2009. v.3, n. 4, 378-398.

SAKAI, K., ANDRADE-SANCHEZ, P., UPADHYAYA, S K. Periodicity and stochastic hierarchical orders of soil cutting force data detected by an “Auto-regressive error distribution function” (AREF), *Trans. ASABE* 48 (6),1-8, 2005.

SAKAI, K., Understanding Sustainable Development Models, **Models Data**, Policy Seggau Castle, Leibnitz/Austria, 416-444, 2004.

SAKAI, K. Nonlinear dynamics and chaos in agricultural systems. Amsterdam: **Elsevier**, 2001.

SAKAI, K., SASAO, S., SHIBUSAWA, S., BUKUTA, A. Experimental analysis of nonlinear dynamics and chaos in bouncing tractor. **J. Japan. Soc. Agric. Machinery** 62(4): 63-70. 2000

SAKAI, K., Theoretical analysis of nonlinear dynamics and chaos in bouncing tractor. **J. Japan. Soc. Agric. Machinery** 61 (6): 65-72. 1999.

SAKAI, K., AIHARA K. Nonlinear vibrations in agricultural implement system. **Intl. J Bifurcation and Chaos** 4(2): 465-470. 1994.

SAKAI, K., HATA, S.I., TAKAI, M., NAMBU, S., Design parameters of four-shank vibrating subsoiler. *Trans. ASAE* 36 (1), 23–26. 1993.

SAKAI, K., The dynamics behaviour of a tractor-vibrating subsoiler system and the effect of the virtual hitch point. **J. Terramechanics** 25(4): 241-247. 1988.

SALVADOR, N.; MION, R.L.; BENEZ, S.H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.33, n.3, p. 870-874, 2009.

SANTOS, C.A., LANÇAS, K.P. Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico eletrônico. **Energia na Agricultura**. Botucatu, v.14, n. 4, p.55-61. 1999.

SANTOS, F. L., FERNANDES, H. C., RINALDI, P. C. N. Desenvolvimento de uma planilha eletrônica para a determinação da potência disponível na barra de tração de tratores agrícolas. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 14, n. 2, p122-130, 2006.

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**.

SAVI, M. A. Chaos and Order in Biomedical Rhythms. **Journal of Brazilian Sociedade of Mechanical & Engineering**, v.27, n.2, p.157–169, 2005.

SCHLOSSER, J.F.; DEBIASI, H.; WILLES, J.A.; Machado, O.D.C. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.35, n.1, p.92-97, 2005.

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.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção. **Caderno Didático**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, n. 8, 2001. 86p.

SEBESTA, R. W. **Conceitos de linguagens de programação**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 638 p.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediatos e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho escuro sob PD. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.3, p.52-61, 1997.

SEKI, A. S. **Demanda energética de produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo**. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SEKI, A. S. **Demanda energética no processo de ensilagem de milho**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.42, n.7, p.1021-1027, jul. 2007.

SILER, B.; SPOTTS, J. **Usando Especial: Visual Basic 6**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1999.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 10:91-95, 1986.

SILVA, C. B.; MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, v.12, p.67-81, 2011.

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**, São Paulo, SP, v.64, n.2, p. 305-10, 2005.

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.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R. **Trabalho no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto**. Curitiba: SENAR-PR, 2004. 88 p.

SIQUEIRA, R. et al. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

SIRJACOBS, D.; HANQUET, B.; LEBEAU, B.; DESTAIN, M.F. On-line soil mechanical resistance mapping and correlation with soil physical properties for precision agriculture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.64, p.231-42, 2002.

SMITH, L. A.; THOMSON, S. J. GPS position latency determination and ground speed calibration for the SATLOC Airstar m<sup>3</sup>. **Applied Engineering in Agriculture**, v.21, p.769-776. 2005.

SOIL TAXONOMY, Soil Survey Staff (1999). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2 ed., USDA-NRCS. **Agriculture Handbook**, n 436. Whashington.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.3, p.937-944, 2004.

SPOLON, R. **Um Gerador de Aplicação para um Ambiente de Simulação Automático**. 1994. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. Trans. **ASAE**, 36(6):1713-1719. 1993.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.4, n.3, p. 775-760, 2004.

STRICKLAND, R.M.; ESS, D.R.; PARSONS, S.D.; CRISLER, M.T. **Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices**. jul., 2001. 3p. 2001. Disponível em: <<http://mollisol.agry.purdue.edu/ssmc/newsletters/july2001f.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

SUMALI, A.; ADAMCHUK, V.I; MORGAN, M. Application of a strain gauge array to estimate soil mechanical impedance on-the-go. In.: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALE, F.X.R; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa, 2000. 467p.

SUTHERLAND, J. W. **The Jonh W. Sutherland Page**. 2004. Disponível na <[www.mfg.mtu.edu](http://www.mfg.mtu.edu)>. Acesso em: 5 Jun 2013.

SWAMI, S.N. **Agricultural Mechanization In Fiji**. Country Paper: Fiji, Suva, v.1, n.1, p.1-12. Disponível em: <<http://www.unapcaem.org/Activities%20Files/A21/FIJI.pdf>> Acesso em: 16 dez. 2013.

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D.; STAGGENBORG, S.A. Extracting machinery management information from GPS data. St. Joseph: **ASAE**, 2002. 9 p. (ASAE Paper, 021008).

TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; PICCININ, J.L.; FARIAS, J.R.B. ; GALERANI, P.R.; GAZZIERO, D.L.P. . **Avaliação de sistemas de preparo do solo, rotação de culturas e semadura da soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1998 (Série Documentos).

UPADHYAYA, S. K., ROSA, U.A., EHSANI, M., KOLLER, M. JOSIAH., M., SHIKANAI, T. Precision farming in a tomato production system. **ASAE paper** No. 99-1147. ST. Joseph, Mich.: ASAE. 1999.

UPADHYAYA, S. K., MA, T.X., CHANCELLOR, W.J., ZHAO, Y.M. Dynamics of soil-tool interaction. **Soil and Tillage Res.** 9(2): 187-206. 1987.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Manejo do solo para a cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 99-129.

WAY, T.R.; BAILEY, A.C.; RAPER, R.L.; BURT, E.C. Tire lug height effects on soil stresses and bulk density. Transactions of the **ASAE**, St. Joseph, v.38, n.3, p.669-674, 1995.

WOLF. D., GARNER, T.H., DAVIS, J.W. Tillage mechanical energy input and soil crop response. Trans. **ASAE** 24 (6), 1412-1414. 1981.

WRB – World Reference Base for Soil Resources, DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O.; NACHTERGAELE, F. 2001. Lecture Notes on the Major Soils of the World. **FAO World Soil Resources Reports 94**. Rome.

ZAMBALDE, A. L.; JESUS, J. C. S.; SEGRE, L. M. Considerações estratégicas sobre o processo de informatização das empresas/propriedades rurais. In: FEIRA E CONGRESSO DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1995, Juiz de Fora. **Trabalhos apresentados...** Juiz de Fora: Agrosoft, 1995.

ZHANG, H.; HARTGE, K.H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:239-245. 1997.

## APÊNDICE 1

Algoritmos desenvolvidos em VBA (*Visual Basic for Applications*) para o processamento dos dados utilizando a função AREF (*autoregressive error distribution function*).

```
'Author Kenshi Sakai
```

```
Sub DFT() 'Discrete Fourier Transfer Program
```

```
    Dim i As Integer
    Dim d As Integer
    Dim k As Integer
```

```
    Dim sdData() As Double
    Dim dbAmpC()
    Dim dbAmpS()
    Dim dbAmpDFT()
    Dim dbphai()
    Dim sum()
```

```
    Dim intN As Integer
    Dim intDmax As Integer
    Dim dbDelta As Integer
    Dim dbRd() As Double
    Dim dblMean As Double
    Dim dblC0 As Double
    Dim sdlCd As Double
    Dim dbSumC As Double
    Dim dbSumS As Double
    Dim fr As Double
    Dim dbPAI As Double
```

```
'////parameters input////////////////////////////////////
```

```
    intN = 5000
    intDmax = 200
    dbDelta = 1
    dbPAI = 3.141516
```

```
'////data input from sheet////////////////////////////////////
```

```
    ReDim dblData(intN)
```

```
    For i = 0 To intN - 1
```

```
        dblData(i) = Cells(i + 1, 1).Value
```

```
    Next i
```

```

'/////DFT//////////////////////////////////////

ReDim dbAmpC(intN + 1)
ReDim dbAmpS(intN + 1)
ReDim dbAmpDFT(intN + 1)

For k = 0 To intDmax

    fr = k / (intN * dbDelta)
    dbSumC = 0
    dbSumS = 0

    For i = 0 To intN - 1

        dbSumC = dbSumC + dblData(i) * Cos(2# * dbPAI * fr * i
* dbDelta)
        dbSumS = dbSumS + dblData(i) * Sin(2# * dbPAI * fr * i *
dbDelta)

    Next i

    dbAmpC(k) = 2 * dbSumC / (intN)
    dbAmpS(k) = 2 * dbSumS / (intN)

    dbAmpDFT(k) = Sqr(dbAmpC(k) ^ 2 + dbAmpS(k) ^ 2)

Next k

'/////output data//////////////////////////////////////

Cells(1, 3) = "frequency (Hz)"
Cells(1, 4) = "DFT"

k = 0

Cells(k + 2, 3) = k / (intN * dbDelta)
Cells(k + 2, 4) = dbAmpDFT(k) / 2

For k = 1 To intDmax

    Cells(k + 2, 3) = k / (intN * dbDelta)
    Cells(k + 2, 4) = dbAmpDFT(k)

Next k

End Sub

'//////////////////////////////////////

```

```

'Author Kenshi Sakai

Sub semivariogram()'Autoregressive error distribution function - AREF

    Dim i As Integer
    Dim d As Integer
    Dim sdData() As Double
    Dim intN As Integer
    Dim intDmax As Integer
    Dim dbRd() As Double
    Dim dblMean As Double
    Dim dblC0 As Double
    Dim sdlCd As Double

'////////////////////////////////////

    intN = 4000
    intDmax = 800

'////////////////////////////////////

    ReDim dblData(intN)

    For i = 0 To intN - 1

        dblData(i) = Cells(i + 1, 1).Value

    Next i

'////////////////////////////////////

    dblMean = 0

    For i = 0 To intN - 1

        dblMean = dblMean + dblData(i)

    Next i

    dblMean = dblMean / CDbl(intN)

'////////////////////////////////////

    dblC0 = 0

    For i = 0 To intN - 1

        dblC0 = dblC0 + (dblData(i) - dblMean) ^ 2

    Next i

    dblC0 = dblC0 / CDbl(intN)

'////////////////////////////////////

```



## APÊNDICE 2

Parâmetros da função AREF para os sensores ch1, ch2, ch4 e ch5 para todos os tratamentos e repetições.

Parâmetros da função AREF para o sensor ch1

Repetição	Profundidade	Tipo haste	intercepto $y$ ( $\alpha$ )	inclinação ( $\beta$ )
1	15 cm	Defletor plástico	1,35	1,17
2	15 cm	Defletor plástico	1,19	1,07
3	15 cm	Defletor plástico	1,19	1,02
1	15 cm	Sem defletor	1,37	1,18
2	15 cm	Sem defletor	1,39	1,18
3	15 cm	Sem defletor	1,18	1,13
1	15 cm	Defletor metálico	1,09	1,08
2	15 cm	Defletor metálico	1,17	1,09
3	15 cm	Defletor metálico	1,22	1,02
1	25 cm	Defletor plástico	1,41	1,28
2	25 cm	Defletor plástico	1,21	1,19
3	25 cm	Defletor plástico	1,16	1,14
1	25 cm	Sem defletor	1,38	1,24
2	25 cm	Sem defletor	1,29	1,23
3	25 cm	Sem defletor	1,33	1,33
1	25 cm	Defletor metálico	1,14	1,15
2	25 cm	Defletor metálico	1,12	1,24
3	25 cm	Defletor metálico	1,22	1,24
1	35 cm	Defletor plástico	1,38	1,43
2	35 cm	Defletor plástico	1,13	1,33
3	35 cm	Defletor plástico	1,23	1,29
1	35 cm	Sem defletor	1,37	1,41
2	35 cm	Sem defletor	1,02	1,47
3	35 cm	Sem defletor	1,12	1,34
1	35 cm	Defletor metálico	1,12	1,29
2	35 cm	Defletor metálico	1,05	1,37
3	35 cm	Defletor metálico	1,45	1,44

## Parâmetros da função AREF para o sensor ch2

Repetição	Profundidade	Tipo haste	intercepto $y$ ( $\alpha$ )	inclinação ( $\beta$ )
1	15 cm	Defletor plástico	1,38	1,20
2	15 cm	Defletor plástico	1,23	1,10
3	15 cm	Defletor plástico	1,27	1,07
1	15 cm	Sem defletor	1,43	1,22
2	15 cm	Sem defletor	1,44	1,21
3	15 cm	Sem defletor	1,23	1,17
1	15 cm	Defletor metálico	1,16	1,12
2	15 cm	Defletor metálico	1,25	1,15
3	15 cm	Defletor metálico	1,28	1,06
1	25 cm	Defletor plástico	1,46	1,33
2	25 cm	Defletor plástico	1,25	1,22
3	25 cm	Defletor plástico	1,21	1,18
1	25 cm	Sem defletor	1,40	1,27
2	25 cm	Sem defletor	1,31	1,26
3	25 cm	Sem defletor	1,37	1,36
1	25 cm	Defletor metálico	1,21	1,19
2	25 cm	Defletor metálico	1,16	1,27
3	25 cm	Defletor metálico	1,28	1,27
1	35 cm	Defletor plástico	1,39	1,44
2	35 cm	Defletor plástico	1,15	1,34
3	35 cm	Defletor plástico	1,25	1,31
1	35 cm	Sem defletor	1,41	1,43
2	35 cm	Sem defletor	1,01	1,48
3	35 cm	Sem defletor	1,17	1,36
1	35 cm	Defletor metálico	1,16	1,31
2	35 cm	Defletor metálico	1,08	1,38
3	35 cm	Defletor metálico	1,44	1,46

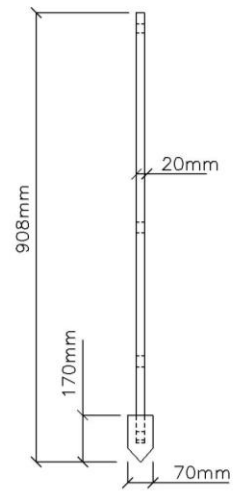
## Parâmetros da função AREF para o sensor ch4

Repetição	Profundidade	Tipo haste	intercepto $y$ ( $\alpha$ )	inclinação ( $\beta$ )
1	15 cm	Defletor plástico	1,25	1,35
2	15 cm	Defletor plástico	1,50	1,41
3	15 cm	Defletor plástico	1,46	1,46
1	15 cm	Sem defletor	1,47	1,30
2	15 cm	Sem defletor	1,50	1,40
3	15 cm	Sem defletor	1,28	1,34
1	15 cm	Defletor metálico	1,04	1,29
2	15 cm	Defletor metálico	1,08	1,24
3	15 cm	Defletor metálico	1,19	1,29
1	25 cm	Defletor plástico	1,28	1,30
2	25 cm	Defletor plástico	1,30	1,38
3	25 cm	Defletor plástico	1,20	1,32
1	25 cm	Sem defletor	1,49	1,39
2	25 cm	Sem defletor	1,45	1,41
3	25 cm	Sem defletor	1,25	1,40
1	25 cm	Defletor metálico	1,33	1,36
2	25 cm	Defletor metálico	1,11	1,25
3	25 cm	Defletor metálico	1,46	1,45
1	35 cm	Defletor plástico	1,55	1,52
2	35 cm	Defletor plástico	1,35	1,45
3	35 cm	Defletor plástico	1,19	1,38
1	35 cm	Sem defletor	1,06	1,25
2	35 cm	Sem defletor	1,33	1,47
3	35 cm	Sem defletor	1,17	1,33
1	35 cm	Defletor metálico	1,21	1,43
2	35 cm	Defletor metálico	1,31	1,44
3	35 cm	Defletor metálico	1,06	1,25

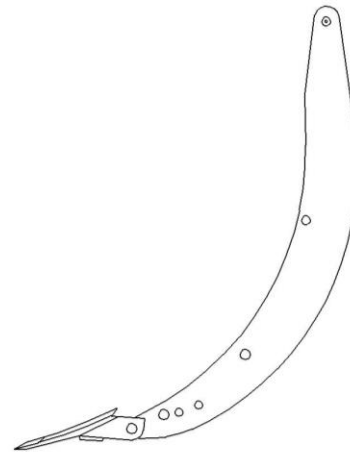
## Parâmetros da função AREF para o sensor ch5

Repetição	Profundidade	Tipo haste	intercepto $y$ ( $\alpha$ )	inclinação ( $\beta$ )
1	15 cm	Defletor plástico	1,25	1,35
2	15 cm	Defletor plástico	1,51	1,41
3	15 cm	Defletor plástico	1,46	1,46
1	15 cm	Sem defletor	1,47	1,29
2	15 cm	Sem defletor	1,49	1,40
3	15 cm	Sem defletor	1,20	1,34
1	15 cm	Defletor metálico	1,04	1,29
2	15 cm	Defletor metálico	1,08	1,24
3	15 cm	Defletor metálico	1,18	1,28
1	25 cm	Defletor plástico	1,27	1,30
2	25 cm	Defletor plástico	1,29	1,38
3	25 cm	Defletor plástico	1,20	1,33
1	25 cm	Sem defletor	1,50	1,39
2	25 cm	Sem defletor	1,46	1,42
3	25 cm	Sem defletor	1,26	1,40
1	25 cm	Defletor metálico	1,32	1,36
2	25 cm	Defletor metálico	1,11	1,25
3	25 cm	Defletor metálico	1,46	1,45
1	35 cm	Defletor plástico	1,55	1,52
2	35 cm	Defletor plástico	1,35	1,45
3	35 cm	Defletor plástico	1,10	1,38
1	35 cm	Sem defletor	1,07	1,25
2	35 cm	Sem defletor	1,33	1,47
3	35 cm	Sem defletor	1,17	1,33
1	35 cm	Defletor metálico	1,21	1,43
2	35 cm	Defletor metálico	1,31	1,44
3	35 cm	Defletor metálico	1,05	1,24

### APÊNDICE 3

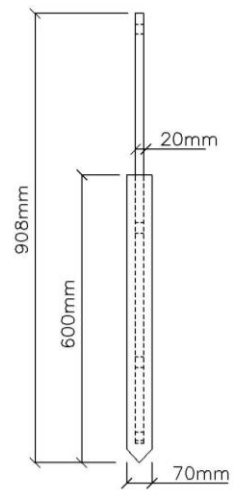


Vista Frontal

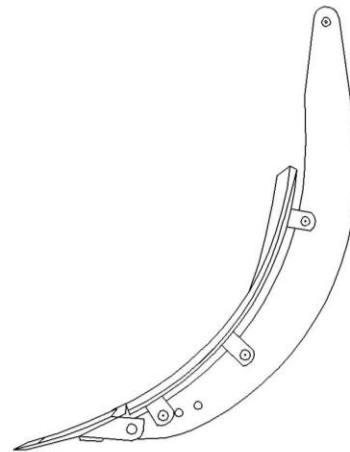


Vista lateral

HASTE SEM DEFLETOR



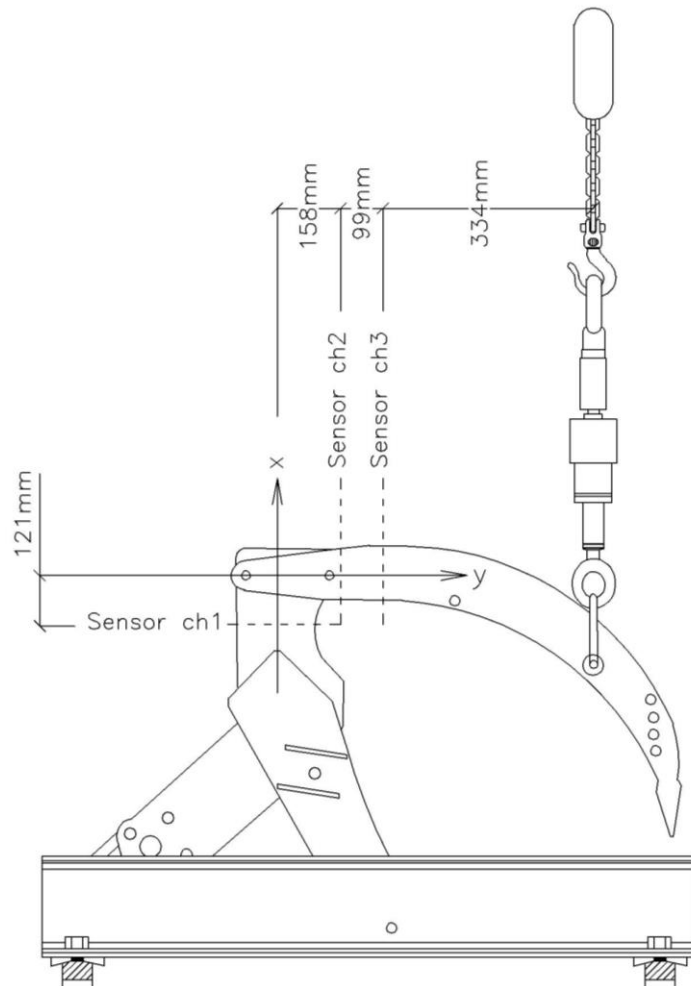
Vista Frontal



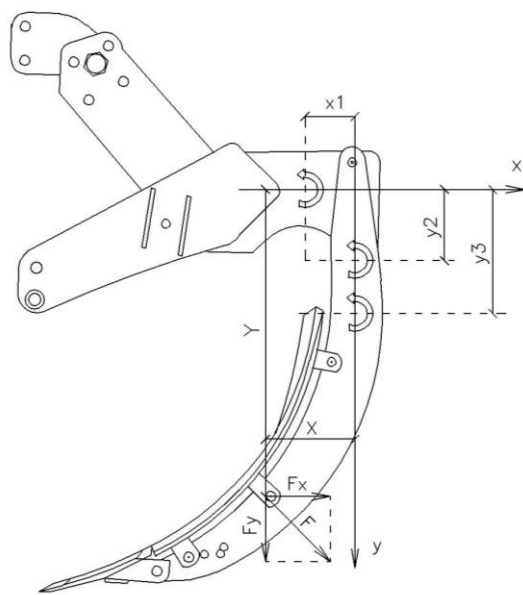
Vista lateral

HASTE COM DEFLETOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA	
Faculdade de Ciências Agrônômicas – Botucatu/SP	
APÊNDICE 3	Fl 01/03
HASTE COM DEFLETOR E HASTE SEM DEFLETOR	folha A4
	S/ESCALA
	05/10/2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA	
Faculdade de Ciências Agrônômicas – Botucatu/SP	
APÊNDICE 3	Fl 02/03
CALIBRAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS DE RESISTÊNCIA	folha A4
ELÉTRICA	S/ESCALA
	05/10/2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA	
Faculdade de Ciências Agrônômicas – Botucatu/SP	
APÊNDICE 3	FI 03/03
SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS	folha A4
	S/ESCALA
	05/10/2013