



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**KARLA LÚCIA BATISTA ARAÚJO**

**DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM MICROTRATOR EM  
FUNÇÃO DA LASTRAGEM, VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E PRESSÃO  
DE INFLAÇÃO DOS PNEUS**

**FORTALEZA - CE**

**2013**

KARLA LÚCIA BATISTA ARAÚJO

DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM MICROTRATOR EM  
FUNÇÃO DA LASTRAGEM, VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E PRESSÃO DE  
INFLAÇÃO DOS PNEUS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- A689d Araújo, Karla Lúcia Batista.  
Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus / Karla Lúcia Batista Araújo. – 2013.  
66f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.  
Área de Concentração: Engenharia dos Sistemas Agrícolas.  
Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti.
1. Agricultura familiar. 2. Consumo de combustível. 3. Patinagem. I. Título.

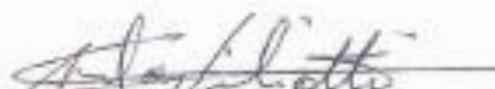
KARLA LÚCIA BATISTA ARAÚJO

DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM MICROTRATOR EM  
FUNÇÃO DA LASTRAGEM, VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E PRESSÃO DE  
INFLAÇÃO DOS PNEUS

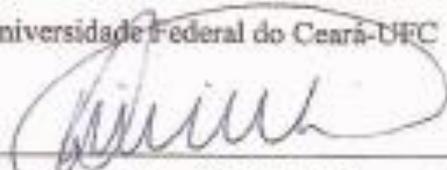
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Data de Aprovação: 21/05 /2013.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará-UFC



Prof. Dr. Renildo Luiz Migo  
Universidade Federal de Mato Grosso



Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro  
Universidade Federal do Ceará

Aos meus pais Luciene e Carlos pela educação,  
incentivo e amor incondicional...

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela presença constante sem que eu precisasse pedir, por ser luz nas minhas escolhas e conforto nas horas difíceis.

A minha mãe Maria Luciene Araújo Batista, a principal responsável por minha formação e princípios de vida. Sobretudo, por ter acreditado que a educação é a maior herança que se pode deixar para os filhos, obrigada mãe por suas orações. Ao meu pai Carlos Sabino Batista pelo apoio, incentivo e carinho de sempre.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), uma Instituição de imensa credibilidade, onde pude realizar o meu mestrado.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, pelos conhecimentos repassados no decorrer do meu mestrado e por mim assimilados.

A meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti, pela paciência na orientação, por todo conhecimento científico passado e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho e a realização de outros trabalhos científicos.

A todos os amigos de trabalho que ganhei nesses dois anos de NEMASA: Elivânia, Silvia, Beatriz, Ronaldo, Virginia, Clice, Marcelo, Fidel, Rodrigo, Ricardo, Alan, Igor, Fábio, Mariana, Rafaela. Sem a união de todos a realização deste trabalho não teria sido possível.

A banca examinadora, Prof. Dr. Renildo Luiz Mion e Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, que gentilmente se dispuseram analisar este trabalho.

Ao Raul, mais que um companheiro e amigo, sempre dando força e se oferecendo para ajudar na realização deste trabalho, obrigada pelo apoio e torcida para que eu pudesse chegar até este momento.

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

Neste momento, aproveito para firmar o compromisso de dar o melhor de mim para retribuir à sociedade, a formação que me foi proporcionada por uma Universidade pública e gratuita.

## RESUMO

Araújo, Karla Lúcia Batista. Universidade Federal do Ceará, maio 2013. **Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus.** Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti. Conselheiros: Prof. Dr. Renildo Luiz Mion, Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

O microtrator é ideal para atividades desenvolvidas em pequenas áreas por otimizar o trabalho. O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal do Ceará com o objetivo de avaliar a eficiência energética e operacional de um conjunto mecanizado microtrator-rotoencanteirador em três marchas, pressão de inflação e lastragem dos pneus, com e sem lastro. Para obtenção dos dados de eficiência energética utilizou-se um microtrator, instrumentado com sensores indutivos nas rodas para medir a patinagem, provetas para medida do consumo de combustível e célula de carga para obter a força de trabalho na barra de tração. As variáveis estudadas foram velocidade de trabalho, patinagem dos rodados, consumo horário de combustível, consumo específico de combustível, força de tração na barra e potência disponível. Realizou-se dois experimentos fatoriais para cada variável avaliada, o primeiro com o microtrator sem lastro e outro com o uso de lastros, cada experimento era composto de dois fatores: marchas (1ª, 2ª e 3ª) e pressão de inflação dos pneus (82,74; 96,53 e 110,32 kPa). Os dados foram submetidos a análise de variância, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando o Software Assistat 7.6. Os maiores valores de velocidades foram encontrados com o microtrator trabalhando sem lastro na terceira marcha. A maior patinagem foi encontrada na terceira marcha com o microtrator sem lastro e para as diferentes pressões foi sem lastro na pressão de 82,74kPa. O maior consumo horário foi registrado na terceira marcha sem lastro, para as pressões foi de 96,53 kPa sem lastro. Para o consumo específico o maior valor encontrado foi de 3483,04 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, com o microtrator com lastro e 3267,48 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> na pressão de 82,74 kPa. A força de tração na primeira marcha foi de 6,02 kN, na segunda 4,81 kN e na terceira de 3,2 kN, todas não variaram com a mudança de pressão, trabalhando sem lastro.

Com lastro a força foi de 4,81kN, 3,2 kN e 2,00 kN na primeira, segunda e terceira marcha respectivamente. A maior potencia encontrada foi na segunda marcha sem lastro. Entre as pressões a maior foi de 0,48 kW na pressão de 82,74 kW. A maior área de solo mobilizada foi de 0,082 m<sup>2</sup> na primeira marcha com 96,53 kPa quando se trabalhou sem lastro. Com o lastro a maior área foi de 0,82 m<sup>2</sup> na primeira marcha com 82,74 kPa. A melhor eficiência do sistema foi na primeira marcha a 82,74 kPa com lastro, 74,56%.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar. Consumo de combustível. Patinagem.

## ABSTRACT

Araújo, Karla Lúcia Batista. Universidade Federal do Ceará, maio 2013. **Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus.** Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti. Conselheiros: Prof. Dr. Renildo Luiz Mion, Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

The microtractor is ideal for activities in small areas by optimizing the work. The experiment was conducted at the Federal University of Ceará in order to evaluate the energy efficiency and operating a mechanized set microtractor rotoencanteirador-in three-speed, inflation pressure and tire ballast, with and without ballast. To obtain data for energy efficiency used a microtractor, instrumented with inductive sensors to measure wheel slippage, beakers to measure the fuel consumption and load cell for the workforce in the drawbar. The variables studied were working speed skating rotated, hourly fuel consumption, specific fuel consumption, power drawbar pull and power available. We conducted two factorial experiments for each variable evaluated, the first with microtractor without ballast and another with the use of weights, each experiment consisted of two factors: gears (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup>) and inflation pressure of tires (82,74; 96,53 and 110,32 kPa). Data were subjected to analysis of variance test was used for comparison Tukey test at 5% significance level using the Software Assistat 7.6. The highest values were found with speeds microtractor working without ballast in third gear. The largest slip was found in third gear with microtractor without ballast and for different pressures was unbacked pressure of 82,74 kPa. The highest hourly consumption was recorded in third gear without ballast to the pressures of 96,53 kPa was without ballast. For the specific consumption the highest value was 3483.04 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, with microtractor backed and 3267,48 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> at a pressure of 82,74 kPa. The tensile strength in first gear was 6,02 kN, 4,81 kN in the second and third of 3,2 kN, all did not change with the change of pressure, working without ballast. Backed force was 4,81 kN, 3,2 kN and 2,00 kN in the first, second and third gear respectively. The greatest power was found in second gear without ballast. Among the most pressure was 0,48 kW at a pressure of 82,74 kW. The largest land area of 0,082 m<sup>2</sup> was mobilized in first gear with 96,53 kPa when working without ballast. With the ballast was the largest area of 0,82 m<sup>2</sup> in first gear with 82,74 kPa. The best efficiency of the system was in first gear to 82,74 kPa backed, 74.56%.

**Keywords:** Family farming. Fuel consumption. Slippage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Produção, vendas internas e exportações de cultivadores motorizados durante os anos de 1961 – 2011.....	17
Figura 2 -	Ilustração típica de uma enxada rotativa. 1 - Sistema de transmissão; 2 – Eixo; 3 – Mancal; 4 – Faca; 5 – Roda de suporte e controle de profundidade.....	18
Figura 3 -	Área experimental.....	30
Figura 4 -	Detalhamento do perfilômetro antes (A) e depois (B) da passada do microtrator- rotoencanteirador.....	32
Figura 5 -	Microtrator utilizado no experimento.....	33
Figura 6 -	Comboio utilizado no experimento.....	34
Figura 7 -	Sensor indutivo localizado na roda do microtrator.....	35
Figura 8 -	Proveta para medição do consumo de combustível.....	37
Figura 9 -	Verificação da pressão de inflação dos pneus do microtrator antes de ir para o campo e durante a realização dos testes.....	40
Figura 10 –	Momento da colocação dos lastros nas rodas do microtrator.....	40
Figura 11 –	Velocidade de deslocamento ( $m.s^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	43
Figura 12 –	Velocidade de deslocamento ( $m.s^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	44
Figura 13 –	Patinagem dos rodados (%) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 KPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	46
Figura 14 –	Patinagem (%) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	46
Figura 15 –	Consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32;	

	96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	48
Figura 16 –	Consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	48
Figura 17 –	Consumo específico de combustível ( $g.kW^{-1}.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	50
Figura 18 –	Consumo específico de combustível ( $g.kW^{-1}.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	50
Figura 19 –	Força de tração (kN) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	51
Figura 20 –	Força de tração (kN) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	52
Figura 21 –	Potência disponível na barra de tração (kW) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro.....	53
Figura 22 –	Potência disponível na barra de tração (kW) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro.....	54
Figura 23 –	Leitura da resistência do solo a penetração em campo utilizando o penetrômetro eletrônico.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas do solo da área do experimento.....	31
Tabela 2 – Síntese da análise de variância dos valores médios de velocidade de deslocamento ( $m.s^{-1}$ ), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi).....	43
Tabela 3 – Síntese da análise de variância dos valores médios de patinagem, quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi).....	45
Tabela 4 – Síntese da análise de variância dos valores médios de consumo horário de combustível ( $L.h^{-1}$ ), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi).....	47
Tabela 5 – Síntese da análise de variância dos valores médios de consumo específico de combustível ( $g.kW^{-1}.h^{-1}$ ), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi).....	49
Tabela 6 – Síntese da análise de variância dos valores médios de potência disponível na barra de tração (kW), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro, em três diferentes marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi).....	53
Tabela 7 – Área de solo mobilizado pelo conjunto microtrator-ROTOENCANTEIRADOR trabalhando sem lastros e com lastros, nas pressões de 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi) e nas marchas (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ).....	56
Tabela 8 - Valores de capacidade operacional efetiva e teórica (ha.h) e eficiência (%) função da marcha de trabalho, pressão de inflação com o microtrator trabalhando sem lastros e com lastro.....	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Mecanização agrícola.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Mecanização no Estado do Ceará.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Microtrator agrícola.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Rotoencanteirador e enxada rotativa.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Sistema eletrônico para aquisição dos dados.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6</b>	<b>Velocidade de deslocamento.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Patinagem.....</b>	<b>21</b>
<b>2.8</b>	<b>Consumo horário e específico de combustível.....</b>	<b>22</b>
<b>2.9</b>	<b>Força na barra de tração.....</b>	<b>23</b>
<b>2.10</b>	<b>Eficiência energética em tratores.....</b>	<b>24</b>
<b>2.11</b>	<b>Lastro em tratores.....</b>	<b>25</b>
<b>2.12</b>	<b>Pressão de inflação dos pneus.....</b>	<b>25</b>
<b>2.13</b>	<b>Resistência do solo a penetração.....</b>	<b>27</b>
<b>2.14</b>	<b>Perfilômetro.....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Local do estudo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Características físicas do solo da área do estudo.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Resistência do solo a penetração.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Perfil do solo mobilizado.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Microtrator.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6</b>	<b>Conjunto mecanizado utilizado no experimento.....</b>	<b>33</b>
<b>3.7</b>	<b>Sistema de aquisição de dados.....</b>	<b>34</b>
<b>3.8</b>	<b>Sensores utilizados na instrumentação do microtrator.....</b>	<b>34</b>
<i>3.8.1</i>	<i>Sensor indutivo.....</i>	<i>34</i>
<i>3.8.2</i>	<i>Célula de carga.....</i>	<i>35</i>
<b>3.9</b>	<b>Parâmetros avaliados.....</b>	<b>35</b>
<i>3.9.1</i>	<i>Velocidade de deslocamento.....</i>	<i>35</i>
<i>3.9.2</i>	<i>Patinamento dos rodados.....</i>	<i>36</i>
<i>3.9.3</i>	<i>Consumo horário de combustível.....</i>	<i>36</i>
<i>3.9.4</i>	<i>Consumo específico de combustível.....</i>	<i>37</i>
<i>3.9.5</i>	<i>Força de tração.....</i>	<i>38</i>

3.9.6	<i>Potência disponível na barra de tração.....</i>	38
3.9.7	<i>Perfil do solo mobilizado.....</i>	39
3.9.8	<i>Pressão de inflação dos pneus.....</i>	39
3.9.9	<i>Lastro.....</i>	40
3.9.10	<i>Capacidade operacional teórica.....</i>	40
3.9.11	<i>Capacidade de campo efetiva.....</i>	41
3.9.12	<i>Eficiência.....</i>	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Velocidade de deslocamento.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Patinamento dos rodados.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3</b>	<b>Consumo horário de combustível.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Consumo específico de combustível.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5</b>	<b>Força de tração.....</b>	<b>51</b>
<b>4.6</b>	<b>Potência disponível na barra de tração.....</b>	<b>52</b>
<b>4.7</b>	<b>Resistência à penetração do solo.....</b>	<b>55</b>
<b>4.8</b>	<b>Perfil do solo mobilizado.....</b>	<b>56</b>
<b>4.9</b>	<b>Desempenho operacional.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A população rural do Estado do Ceará trabalha principalmente de forma familiar, utilizando-se da tração humana ou animal o que torna o trabalho mais demorado e com pouca mão-de-obra para realizar as atividades. Por esses e outros motivos a mecanização vem sendo procurada por pequenos produtores.

Os microtratores são ideais para o trabalho realizado em pequenas áreas. Caracteriza-se pelo baixo custo de aquisição e manutenção, baixa potência, baixa força de tração, proporciona menor esforço físico por parte do agricultor além de minimizar o problema da escassez de mão-de-obra.

Quando adquirido o microtrator normalmente vem acompanhado de um rotoencanteador, mas existe no mercado uma série de outros implementos que auxiliam desde preparo do solo até colheita, como arados, carretas, pulverizadores, perfurador de solo.

Os rotoencanteadores são utilizados principalmente para a eliminação de ervas daninhas em culturas perenes ou preparo de solo tendo em vista a horticultura. Para obter parâmetros de melhor forma de uso e fornecer informações aos produtores que já possuem o rotoencanteador ou para facilitar na hora da escolha da máquina se faz necessário a realização de ensaios neste conjunto mecanizado.

Os ensaios com máquinas agrícolas são importantes por gerar informações necessárias para os agricultores do ponto de vista operacional e energético e posteriormente adaptá-las as condições da nossa região, tendo uma melhor utilização do equipamento adquirido.

Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado, entre outros, pela patinagem dos rodados, consumo de combustível e força na barra de tração. A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência energética e operacional de um microtrator com um rotoencanteador em três marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>), com e sem lastro e em três diferentes pressões de inflação dos pneus. E assim obter informações sobre o consumo horário e específico de combustível, patinagem dos rodados, velocidade de deslocamento, força na barra de tração, potência, perfil do solo do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Mecanização Agrícola

O termo mecanização agrícola é geralmente usado como uma descrição global da aplicação de ferramentas, implementos, máquinas e potência mecânica (humana, animal ou motomecanizada) na agricultura. Existem três formas de prover energia para a utilização de ferramentas, implementos e máquinas: potência manual (humana); potência animal; e potência motorizada (CLARKE, 1997).

Muitos fatores têm contribuído para a mecanização da agricultura: redução do desgaste humano; aumento da produtividade; necessidade de reduzir picos de demanda de trabalho; e melhoria na pontualidade das operações (SRIVASTAVA, 1993).

O tipo e grau de mecanização devem ser decididos pelo produtor para melhor se adequar ao seu negócio, e em suas circunstâncias particulares, a escolha dos métodos adequados será apenas uma, das muitas escolhas que o agricultor deve fazer, as decisões em se mecanizar, e como mecanizar são frequentemente complexas, e envolvem questões econômicas e ambientais (CLARKE, 1997).

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna. Atividades como preparo de solo, adubação, pulverização e colheita, que eram realizadas com trabalho manual e animal, hoje são desenvolvidas com o auxílio de máquinas. Isso ajuda a garantir melhores produtividades e permite o cultivo de maiores áreas (CUNHA *et al.*, 2009).

De acordo com Ripoli *et al.* (2005), a moderna agricultura, seja ela em grande escala ou mesmo entre médios e pequenos agricultores tem, como principal característica, o elevado índice de mecanização das operações de campo. Montana (2010) afirma que o aumento das operações mecanizadas no campo houve uma redução significativa no trabalho manual, que em contrapartida, aumentou o consumo de insumos energéticos nas operações de campo.

A intensificação do uso de máquinas agrícolas, no Brasil, começou a partir da década de 60, fruto do processo de modernização da agricultura, sendo o trator agrícola considerado o eixo da mecanização na agricultura moderna. Em relação ao trabalho manual, o uso do trator agrícola reduziu de forma significativa a carga física à qual o trabalhador encontrava-se submetido, tornando-se responsável por uma parcela significativa do aumento da capacidade de produção agrícola e, por outro lado, também pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo (JESUINO, 2007).

Segundo a Norma Regulamentadora 12, trator agrícola é uma máquina autoprovelida de médio a grande porte, destinada a puxar ou arrastar implementos agrícolas. Consiste na principal fonte de potência na agricultura, sendo à base da mecanização, pois está envolvido em praticamente quase todas as operações realizadas (RUSSINI, 2009).

Para Mialhe (1980) trator agrícola é uma máquina autoprovelida provida de meios que, além de lhe conferir apoio estável sobre uma superfície horizontal e impenetrável, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica, para movimentar órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas. No trator agrícola a energia gerada pela combustão é transformada em energia mecânica no motor.

Segundo ANFAVEA (1999), os tratores podem ser classificados em: leves (até 49 cv); médios (entre 50 e 99 cv); e pesados (acima de 100 cv). Silveira (2001), descreve outra classificação mais delimitada: pequenos (até 27 cv); leves (de 28 a 49 cv); médios (de 50 a 58 cv); semi-pesados (de 58 a 100 cv); pesados ( de 100 a 165 cv); e super-pesados (acima de 165 cv).

Os tipos de tratores mais comuns existentes no Brasil são: Motocultores; microtratores; trator convencional de rodas; trator convencional de rodas com tração dianteira assistida; tratores com tração nas quatro rodas; tratores florestais; trator pulverizador; trator de esteiras (SILVEIRA, 2001).

## **2.2 Mecanização no Estado do Ceará**

Segundo o Censo Demográfico realizado em 2010, a porcentagem da população do Estado do Ceará que ocupa a zona rural é de aproximadamente 24,91%, com uma área plantada de 1.837.447 ha (IBGE, 2011).

O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), afirma que no ano de 2007, a maioria dos estabelecimentos rurais encontram-se na faixa de 10 a 500 hectares, dado que tanto em número de estabelecimentos como em área, eles representam a grande maioria: 68,70% e 68,45% respectivamente.

Grande parte desta população trabalha de forma familiar, utilizando-se da tração humana ou animal o que torna o trabalho mais demorado e com pouca mão-de-obra para realizar as atividades rurais.

O Ceará ocupa a terceira posição no uso da força de tração mecânica do Nordeste, 12,3% dos estabelecimentos da região utilizam a tração mecânica, contra 18,9% no Brasil;

11,4% dos estabelecimentos utilizam alguma forma de tração isoladamente ou conjugada com a tração animal, frente a 8,9% para o Nordeste (IBGE, 2006).

### 2.3 Microtrator agrícola

A Norma Regulamentadora 12 que trata da Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, no seu anexo IV (Glossário), define Motocultivador – trator de rabiças, “mula mecânica” ou microtrator como sendo equipamento motorizado de duas rodas utilizado para tracionar implementos diversos, desde preparo do solo até colheita. Caracteriza-se pelo fato de o operador caminhar atrás do equipamento durante o trabalho.

Segundo Silveira (2001) os motocultivadores são também conhecidos como cavalos mecânicos. Eles são constituídos por um motor sobre um eixo com duas rodas motrizes e guiados por dois guidões. Indicado para pequenas propriedades, ou em terrenos declivosos, tem potências variando de 6 a 27 cv. Tem a conformação geral bem diferente dos tratores de quatro rodas onde o peso do trator se apoia nas rodas motrizes (SCHLOSSER, 2001).

Os microtratores geralmente são dotados de motores de combustão interna, que transformam a energia potencial calorífica dos combustíveis ou carburantes em energia mecânica (RODRIGUES *et al.*, 2006). A eficiência da transformação da energia química em energia mecânica desse tipo de motor varia entre 25 e 35%, sendo considerado um conversor de baixa eficiência energética (LILJEDAHN, *et al.* 1989).

Na agricultura familiar é frequente o emprego de tratores de rabiça como fonte de potência, podendo ser uma ferramenta para otimizar o trabalho. Este modelo de trator torna possível abranger uma maior área em menor tempo comparado com os trabalhos que utilizam a fonte de tração animal (MORAIS *et al.*, 2009). Aumenta a produtividade, diminui o tempo e os custos de produção, além de reduzir substancialmente, a demanda de esforço físico do homem do campo (RODRIGUES *et al.*, 2006).

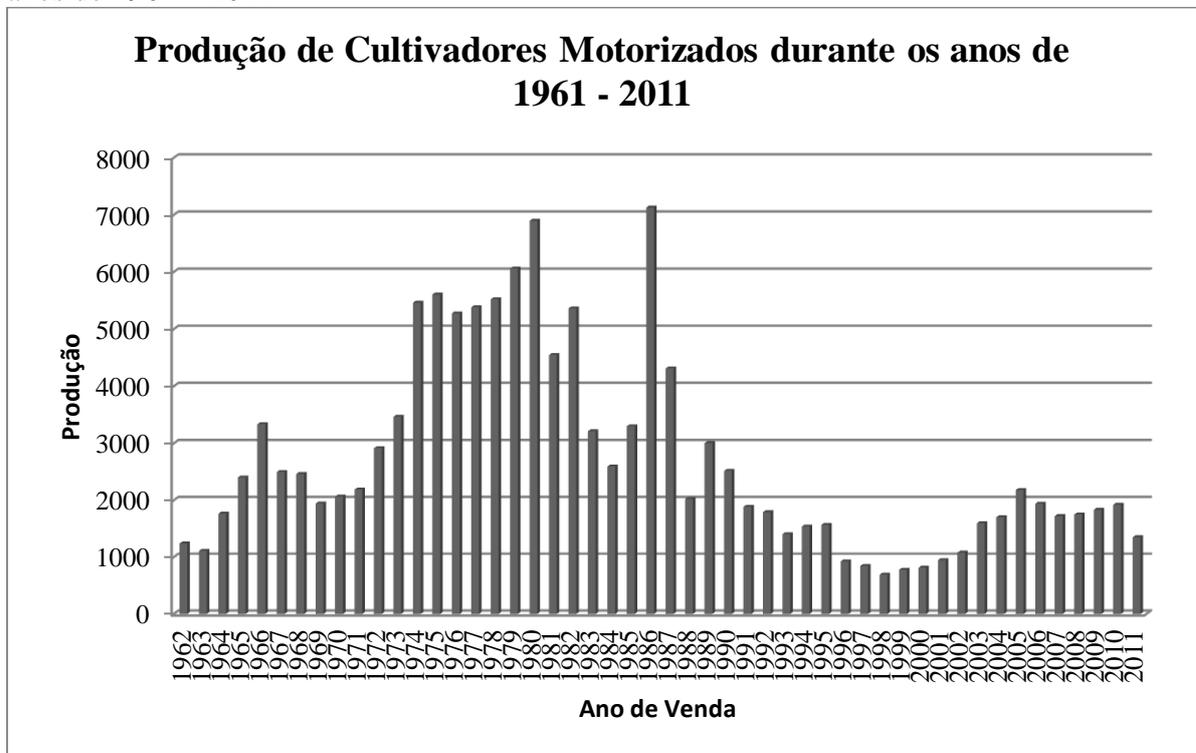
São também empregados para dar suporte aos diferentes sistemas de produção, principalmente em áreas de difícil acesso ou com espaço restrito, como jardins, estufas e galpões aviários (NAGASAKI *et al.*, 1999).

Normalmente o microtrator vem com uma enxada rotativa posterior às rodas motrizes, podendo ser substituída por arados, carretas, pulverizadores, perfurador de solo e outros implementos (SILVEIRA, 1987). Segundo ICEPA (2012), no Brasil os principais

implementos e máquinas disponíveis para microtratores e motocultivadores são: arado de aivecas, enxadas rotativas, rotoencanteirador, pulverizadores e carretas.

A fabricação de cultivadores motorizados no Brasil iniciou-se no ano de 1961, com 751 unidades. Na Figura 1 pode-se observar que a partir da década de 70 a produção aumentou substancialmente, atingindo em 1986 um valor máximo histórico de 7 mil unidades tanto em produção como em vendas internas, desde então, teve um decréscimo até o início de 2001. Em 2002 o Brasil retomou sua produção chegando em 2010 com uma produção de 1.922 unidades, e o mercado interno absorvendo 1.807 unidades (ANFAVEA, 2011).

Figura 1 - Produção, vendas internas e exportações de cultivadores motorizados durante os anos de 1961 – 2011



Fonte: ANFAVEA, 2012.

A modernização da infraestrutura produtiva das unidades familiares, promovida pelo programa do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), foi responsável por 80,7% do total de vendas de motocultivadores e tratores de 11cv a 78cv efetuadas durante o ano de 2009.

Ainda segundo os dados apresentados pela ANFAVEA é o fato das regiões sudeste e sul apresentarem um número significativo de vendas internas dessas máquinas, isso mostra que as mesmas não são apenas utilizadas nas regiões menos desenvolvidas.

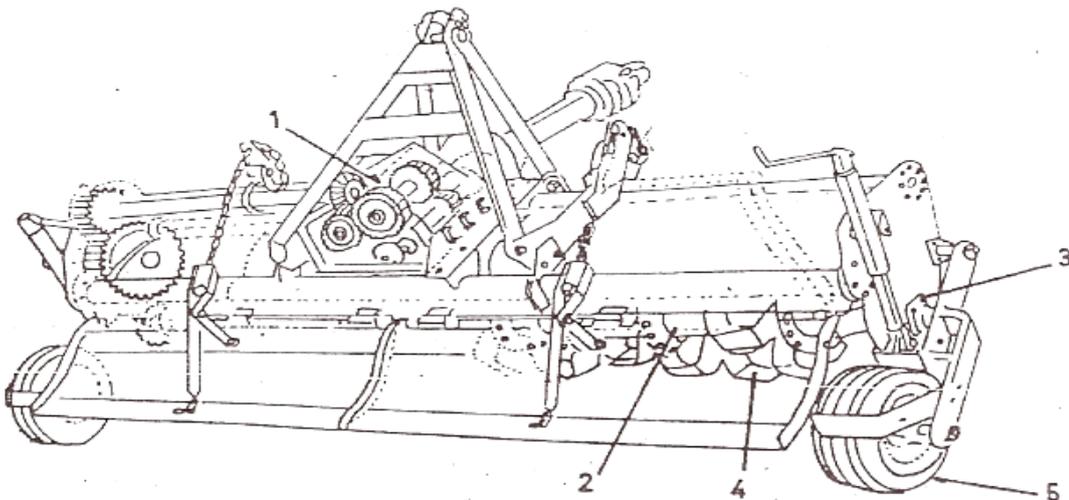
## 2.4 Rotoencanteirador e enxada rotativa

O primeiro trabalho publicado, referente à utilização de máquinas rotativas, é creditado a Haskins que em 1850 apresentou, na Inglaterra, um projeto para cultivo do solo, com órgãos ativos rotativos acionados mecanicamente (BERNACKI, 1972).

As enxadas rotativas mais comumente encontradas em nosso meio são utilizadas principalmente para a eliminação de ervas daninhas em culturas perenes, ou preparo do solo visando à horticultura (BALASTREIRE, 1990).

Na Figura 2 está apresentada a constituição de uma enxada rotativa. Possui um eixo perpendicular a direção de deslocamento da máquina, suportado por dois ou mais mancais, sendo colocados nesse eixo flanges onde são fixadas as facas, cujo formato mais comum é em L, o qual é menos exigente em potencia de acionamento, requer menos força de tração, produz uma boa desagregação do solo, a dispersão de restos de cultura é bastante uniforme e o corte destes restos é executado sem embuchamentos. O arranjo das facas no rotor e o seu número variam entre os fabricantes e em função desses parâmetros produzem-se efeitos diferentes no solo, bem como varia o requerimento de energia para o acionamento da enxada (BALASTREIRE, 1990).

Figura 2 – Ilustração típica de uma enxada rotativa. 1 - Sistema de transmissão; 2 – Eixo; 3 – Mancal; 4 – Faca; 5 – Roda de suporte e controle de profundidade



Fonte: Balastreire, 1990.

Os rotoencanteiradores são utilizados principalmente para a eliminação de ervas daninhas em culturas perenes ou preparo de solo tendo em vista a horticultura.

## 2.5 Sistema eletrônico para aquisição dos dados

A aquisição de dados é efetuada mediante um conjunto de sensores e um coletor de dados para leitura e armazenamento de dados (MANTOVANI *et al.*, 1999). Através dos dados coletados pode-se determinar o desempenho operacional do conjunto mecanizado, assim como uma avaliação de forma bastante rápida a fim de recomendação tanto para o usuário como para o fabricante (SORANSO, 2006).

Segundo Silva *et al.* (1997), o objetivo da instrumentação agrícola para realização de ensaios em campo é gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na área agrícola.

Portanto, os primeiros passos referentes a instrumentos em tratores iniciaram no século passado, foram avançando, e hoje se tornaram comuns em máquinas agrícolas fazendo parte do cotidiano dos agricultores. Inúmeros são os tipos de máquinas que saem de fábrica equipadas com instrumentos eletrônicos com o objetivo de auxiliar nas atividades desempenhadas na lavoura principalmente semeadura, pulverização e colheita, sendo estas operações consideradas agronomicamente fundamentais para o sucesso da lavoura. Para a pesquisa é fundamental obter informações de comportamento de um trator durante a realização das atividades a campo (RUSSINI, 2009).

Muitos exemplos de utilização de um sistema de aquisição de dados foram realizados, como pode-se citar o trabalho de Schlosser *et al.* (2001), foi utilizada uma instrumentação eletrônica de aquisição de dados formada por um conjunto de sensores para medida da velocidade das rodas, velocidade do veículo por meio de um radar, célula de carga, conexões, cabos e um condicionador de sinais, junto com um programa de aquisição de dados e um sistema de armazenamento no computador, cujo objetivo foi o estudar o fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos em um trator com tração dianteira auxiliar (TDA).

Silveira *et al.* (2005), desenvolveram um sistema automático de aquisição de dados para determinar a posição do trator no campo através de um receptor GPS, sua velocidade de deslocamento, o consumo de combustível e a rotação do motor. Um dos resultados adquiridos com o sistema de aquisição foi que o valor de consumo de combustível estava de acordo com o esperado, mas as determinações da rotação do motor requerem calibração.

Mantovani *et al.* (1999), afirmam que testes de desempenho do conjunto trator-implemento, usando instrumentação eletrônica, permitem uma grande capacidade de trabalho

em razão da facilidade de programação e operação da cadeia de medições. Pelos dados coletados obtêm-se as curvas de desempenho operacional do conjunto, assim como um relatório de avaliação completo de forma bastante rápida, que pode servir de recomendação tanto para o usuário quanto para os fabricantes.

Segundo Santos (2006) para que se faça uma avaliação por meio de um sistema de instrumentação, seja mecânico ou eletrônico, é necessário que se tenha instalados instrumentos capazes de fazer a medição dos dados que se deseje avaliar e comparar. Portanto, é necessário um sistema de aquisição de dados para coletar informações, como consumo e temperatura de combustível, velocidade de deslocamento, potência e força de tração, patinagem e outros parâmetros.

## 2.6 Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento é um dos fatores de extrema importância no planejamento das operações agrícolas, influenciando diretamente no desempenho dos sistemas mecanizados. A correta determinação da velocidade de deslocamento dos conjuntos motomecanizados é fundamental para o gerenciamento da qualidade das operações, monitoramento do requerimento de potência, patinagem das rodas motrizes e da eficiência de tração, dentre outros (MOLIN *et al.*, 2005).

Monteiro (2009), afirma que a velocidade deve ser compatível com o tipo de terreno e implemento com que o trator vai trabalhar.

Para Balastreire (1990), a velocidade de trabalho influi na largura de corte das fatias de solo. Quanto maior a velocidade de deslocamento da enxada rotativa para uma dada rotação, mais largas as fatias cortadas. Desta forma, a velocidade de trabalho deverá ser escolhida em função do trabalho final desejado. Além disso, a velocidade de trabalho depende do tamanho do trator utilizado, da largura de trabalho e da utilização da enxada. Os limites de velocidade normalmente se situam entre 4 e 6 Km.h<sup>-1</sup> para movimentação inicial do solo, 6 a 9,6 km.h<sup>-1</sup> para movimentações secundárias do solo e 2,4 a 4,8 km.h<sup>-1</sup> para trabalhos em estufa ou paisagismo.

Tompkins *et al.* (1988) avaliaram vários equipamentos de medição de velocidade, tais como sensor de rodas, roda odométrica e radar com trator operando entre 1,31 e 2,78 m s<sup>-1</sup> em diferentes superfícies. Observaram que o coeficiente de variação da indicação da velocidade como função de tempo tendeu a ser maior para sensores em contato com rodas do que para o radar, exceto em superfícies de vegetação alta.

Antuniassi *et al.* (2001) avaliaram a influência do tipo de superfície e de mudanças no direcionamento do trator na medição da velocidade de deslocamento, utilizando sensores de roda e radares. Os autores concluíram que o sensor magnético de roda apresentou velocidade média indicada maior do que o radar, apesar de ambos terem sido calibrados nas mesmas condições.

## 2.7 Patinagem

Conforme Gamero e Lanças (1996) a patinagem é a denominação que se dá ao deslizamento entre a superfície da banda de rodagem e o solo, sendo um fator determinante para que ocorra a tração.

Segundo Garcia (2009) a patinagem depende de vários fatores como: condição do solo (solto ou firme), do pneu (novo ou com desgaste, calibração), da distribuição de peso no trator (lastro), da carga no sistema de engate de três pontos ou na barra de tração.

A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível (GABRIEL FILHO *et al.*, 2002).

Nas situações em que a patinagem é excessiva, ocorre perda de potência pelo deslizamento dos pneus, a velocidade de deslocamento é reduzida, e o desgaste dos pneus é acelerado. Para evitar essas consequências deve ser aumentado o lastro e reduzir a carga na barra de tração ou no engate de três pontos. A patinagem reduzida em geral representa excesso de peso/lastro no trator, exigindo o aumento da potência requerida para movimentar o trator e reduzindo a potência disponível para tracionar o implemento. Nestes casos há aumento do desgaste do motor e do consumo de combustível, sendo necessário reduzir o lastro da máquina (GARCIA, 2009).

Conforme Herzog *et al.* (2002), nos tratores agrícolas a patinagem dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes. A declividade e teor de água do solo também afetam a patinagem das rodas motrizes do trator (LANÇAS e UPADHYAIA, 1997).

A patinagem nos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições sem o implemento (MIALHE, 1996; CORRÊA *et al.*, 1999 e SCHLOSSER *et al.*, 2004).

## 2.8 Consumo horário e específico de combustível

Segundo Mialhe (1996), o consumo de combustível pode ser apresentado como unidade de volume por unidade de tempo ( $L \cdot h^{-1}$ ), em que não se considera a influência da variação da temperatura e nem relacionado com a potência desenvolvida. E ainda pode-se apresentar o consumo de combustível através da unidade de massa por unidade de tempo ( $kg \cdot h^{-1}$ ); nessa forma, apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência; no entanto, a maneira mais técnica de apresentar o consumo é expressá-lo em unidade de massa por unidade de potência ( $g \text{ kWh}^{-1}$ ), conhecida como consumo específico ou consumo por unidade de área trabalhada ( $g \text{ kWh}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ).

O consumo de combustível varia em função de vários fatores, entre eles: adequação e condição do conjunto trator-implemento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção. (CORRÊA *et al.*, 1999; NAGAOKA *et al.*, 2002). É influenciado por fatores como lastro, carga demandada na barra de tração, tipo de pneu e velocidade de deslocamento (LOPES *et al.* 2003).

Nagaoka *et al.* (2002), ao comparar o consumo de combustível de um trator em diferentes tipos de preparo do solo, concluíram que o maior consumo de combustível do trator se deu quando se utilizou o método convencional (aração e gradagem) em relação à área sob o sistema de plantio direto.

A mensuração da quantidade de combustível consumida constitui-se um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia (MIALHE, 1996).

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

Na transmissão de potência do motor de tratores para a barra de tração, ocorrem perdas de energia que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perda de potência apresentando condições inadequadas para a tração e causando um consumo excessivo de combustível pelo trator (GABRIEL FILHO *et al.*, 2010).

## 2.9 Força na barra de tração

A tração é uma força proveniente da interação entre um dispositivo de autopropulsão, tal como a roda, e o meio no qual age esse dispositivo (MIALHE, 1980). A tração é a força, na direção do deslocamento, produzida por um trator em sua barra de tração (ASAE, 1999).

A potência disponível no motor do trator e a patinação dos rodados são os fatores que determinam, para cada marcha, o ponto de inflexão da curva de tração versus velocidade, pois: potência na barra é igual à força de tração vezes velocidade de deslocamento (MIALHE, 1996).

É importante conhecer a força e a potência disponível na barra de tração para poder dimensionar equipamentos adequados à capacidade do trator (MASIERO, 2010).

A determinação da potência de tração pode ser realizada por meio da medição do esforço de tração, através de instrumentações eletrônicas de aquisição em tempo real de dados como esforço de tração, patinamento, velocidade de avanço, etc (FRANTZ, 2011).

Várias são as situações e condições que podem influenciar na tração e algumas das principais são as propriedades e as condições da superfície do solo. Dentre as condições do solo que afetam a eficiência de tração de um trator agrícola pode-se mencionar a sua textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre esse solo (YANAI *et al.*, 1999 e GABRIEL FILHO *et al.*, 2004).

O baixo desempenho na barra de tração ocorre devido a alguns fatores como o tipo de solo (características intrínsecas), distribuição de peso sobre os rodados, características dos rodados, transferência de peso durante a operação, tipo e quantidade de cobertura vegetal, entre outros (GABRIEL FILHO *et al.*, 2002).

Silveira *et al.* (2005), ressaltam a importância de alguns fatores fundamentais no gerenciamento da utilização da maquinaria agrícola como a potência e a capacidade de trabalho do trator. Os autores ainda destacam que as máquinas agrícolas que trabalham em conjunto devem se adequar umas as outras, por exemplo, um trator deverá ser capaz de fornecer a quantidade exata de potência para puxar ou acionar toda a gama de implementos ou máquinas selecionadas para o trabalho em combinação, na melhor velocidade de operação possível.

Trintin *et al.* (2005) utilizaram um sistema de aquisição de dados para medida da força de tração em uma semeadora-adubadora de plantio direto. Para determinar a força de

tração, foi utilizada uma célula de carga nivelada horizontalmente, inserida entre o trator e a semeadora. Os dados obtidos foram armazenados em um datalogger e posteriormente transferidos para um computador.

## **2.10 Eficiência energética em tratores**

De acordo com Mattar (2010) a utilização de máquinas e equipamentos tem como objetivo melhorar a capacidade operacional, facilitar o trabalho do homem, melhorando assim a eficiência produtiva.

Em muitas regiões do Brasil, equipamentos agrícolas têm a sua utilização comprometida, em razão da sua não-adequação às condições de trabalho (MANTOVANI *et al.*, 1999).

As máquinas deverão estar corretamente adequadas ao tamanho da fazenda e às operações a serem realizadas, de modo que no final resulte numa combinação de equipamentos com a maior economia possível (SILVEIRA *et al.*, 2005).

Marchetti (2006) propõe que a escolha adequada do trator agrícola para uma determinada região, condição de preparo do solo, clima e operações agrícolas a serem realizadas requerem um estudo com vários fatores a serem analisados. Os tratores são normalmente selecionados de acordo com as necessidades de potência dos implementos usados em mobilização primária, como arados de discos e subsoladores (SERRANO, 2007).

Segundo Ribeiro (1997) otimizar o desempenho de máquinas agrícolas, principalmente as de preparo de solo, é fator fundamental para a redução dos custos de produção da agricultura.

No mercado existem diversos modelos de tratores, no momento da compra, a escolha do agricultor baseia-se na potência, conforto, facilidade de manobra e manutenção do trator, além do preço (SILVEIRA; SIERRA, 2010). O conhecimento da eficiência energética do trator poderia ser mais um item a ser considerado em sua seleção (SILVEIRA; SIERRA; CANAVATE, 2008).

Os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela patinagem das rodas motrizes, consumo de combustível e potência na TDP (MIALHE, 1996). Segundo Garcia *et al.* (2005) 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 os custos adicionais com máquinas superdimensionadas, comum nas propriedades agrícolas.

## 2.11 Lastro em tratores

Consiste em adicionar pesos no trator com o objetivo de reduzir a perda de força de tração, aumentar o rendimento operacional e diminuir o desgaste dos pneus reduzindo a patinagem (MONTEIRO, 2009). O peso do trator influi diretamente no desempenho a campo deste (MÁRQUEZ, 1990).

Para Monteiro (2008), o lastreamento com água consiste em colocar água nos pneus conforme o recomendado pelo fabricante. O percentual de água nos pneus é determinado pela posição do bico em relação à superfície do solo. O lastreamento com pesos metálicos (contrapesos) pode ser realizado através de discos metálicos fixados nas rodas ou placas metálicas montadas na dianteira do trator (MONTEIRO, 2009).

Lopes *et al.* (2003) verificaram que o consumo de combustível num trator 4x2 TDA com 121 cv no motor é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

Cordeiro (1994) avaliou o efeito da lastragem no desempenho de um trator agrícola e observou que o consumo horário de combustível dependeu apenas da rotação e da carga aplicada na barra de tração, sendo que, tanto as condições de lastragem quanto às condições do solo, não tiveram influência significativa no seu comportamento. A combinação de pressão baixa\correta e o uso de pneus de construção radial tem sido uma alternativa para minimizar o efeito da compactação e aumentar a eficiência de tração.

Três níveis de lastragem (100, 90 e 77% do peso do trator totalmente lastrado) para um trator 4x2 TDA, operando em pista de concreto, em solo arenoso e em solo argiloso, foram avaliados por Cordeiro (1994) para medir o consumo de combustível. Os resultados mostraram que o consumo de combustível não se modificou quando a carga vertical e as condições do solo se alteraram, mesmo com a retirada de aproximadamente 20% do seu peso.

Cordeiro (2000), ao avaliar o desempenho operacional de um trator John Deere – SLC modelo 6600, 4x2 TDA, utilizando três modelos de pneus: diagonal, radial e BPAF (Baixa Pressão e Alta Flutuação), observaram que o pneu diagonal apresentou maiores capacidades de tração do que os pneus radiais e BPAF, com menor patinagem nas condições de maior força na barra de tração e maiores níveis de lastro.

## 2.12 Pressão de inflação dos pneus

Os rodados pneumáticos de um trator agrícola possuem diversas funções importantes, tais como: garantir o equilíbrio, o deslocamento, o direcionamento, o desempenho operacional e o amortecimento entre as irregularidades do solo e o trator. Os resultados de desempenho operacional do trator são influenciados pelo tipo de construção, pela pressão de inflação, pela carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e desgaste dos rodados pneumáticos (MONTEIRO, 2011).

O ar contido no interior do pneu é que vai fazer com que o mesmo suporte as cargas e é a sua pressão interna a responsável para que execute tarefas mais ou menos eficientemente (FRANTZ, 2011).

Para Mialhe (1980), a pressão interna é um fator importante para o desempenho e a manutenção dos pneus agrícolas, sendo que as pressões recomendadas variam de acordo com o número de lonas e a carga sobre o pneu.

A pressão interna dos pneus pode ser variada dentro de certos limites que são fixados pela pressão mínima para que o pneu não gire em relação ao aro, e/ou não provoque deflexão excessiva. Do mesmo modo pela pressão máxima, que pode ser função de dois fatores: a máxima pressão que a carcaça do pneu pode suportar e a que resulta numa pressão aplicada ao solo não superior à pressão de pré-consolidação, evitando assim a compactação adicional ao solo. Além disso, a pressão máxima sempre deve estar fixada em função do peso dinâmico máximo que o pneu pode suportar e a pressão mínima varia em função da carga, velocidade e das condições de superfície do terreno (KNOB, 2010).

Baixa pressão dos pneus em tratores agrícolas é uma alternativa para minimizar a compactação e eficiência de tração, aumento e derrapagem das rodas é um dos fatores que tem a maior influência sobre a capacidade de tração de tratores agrícolas (LOPES & LANÇAS, 2000). Pneus com baixa pressão de inflação tendem a ter maior área de contato com o solo, fornecendo ao trator maior capacidade tratória (MACIEIRO, 2010).

Segundo Lopes *et al.* (2005), a pressão de inflação é um fator determinante para o desempenho dos tratores agrícolas. Em estudo realizado por esse autor, a pressão de inflação influenciou significativamente a velocidade de deslocamento, patinagem e potência na barra de tração, sem, no entanto, apresentar uma tendência de comportamento.

Masiero *et al.* (2009), avaliando o desempenho de um trator agrícola em função da variação da pressão de inflação dos pneus e da força na barra de tração, observaram que pressões abaixo do recomendado pelo fabricante resultaram em maior potência e rendimento na barra de tração para forças de 30 kN devido a maior área de contato dos pneus com o solo,

fornecendo ao trator maior capacidade tratorária. As pressões recomendadas pelos fabricantes forneceram menor consumo de combustível em maior variação de força na barra de tração.

### 2.13 Resistência do solo a penetração

Segundo Mello e Magalhães (1993), a análise dos valores da resistência à penetração ao longo do perfil do solo, antes e depois do preparo pode ser usada para verificar o grau de mobilização do solo, identificar camadas e maior resistência, determinar a eficiência residual de implementos, e avaliar o potencial para desenvolvimento de raízes.

A resistência do solo, que é uma combinação das possíveis fraturas, obviamente é um parâmetro composto. O comportamento é descrito expressando-se a resistência à penetração a uma dada profundidade (BALASTREIRE, 1990).

A resistência do solo à penetração é frequentemente usada para a indicação comparativa da compactação em solos de mesmo tipo e mesmo teor de água, devido à facilidade, rapidez e baixo custo com que numerosas medidas podem ser realizadas e, posteriormente, analisadas (TORRES e SARAIVA, 1999).

O contínuo uso do solo, principalmente em áreas agrícolas totalmente mecanizadas, provoca aumento da heterogeneidade das características químicas e físicas do solo (SOUZA *et al.*, 1999). Um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo é a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), por apresentar relação direta com o crescimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (FREDDI *et al.*, 2006).

Mialler (1987) afirma que um solo é considerado compactado quando oferece impedimento ao crescimento das raízes ao atingir valores de resistência à penetração na ordem de 3,0 MPa. Já para Assis (2000), valores de índice de cone entre 2,6 a 5,0 MPa promovem limitações ao crescimento das raízes, sendo que valores de 5,1 a 10 MPa tornam-se críticos ao desenvolvimento das plantas.

Cunha *et al.* (2002) afirma que na prática, o conhecimento desta relação entre resistência à penetração, densidade e teor de água do solo é de extrema importância, pois permite prever as condições nas quais poderá ocorrer impedimento ao crescimento radicular das plantas. Permite um manejo correto do solo, visando uma agricultura sustentável.

A variabilidade dentro do perfil do solo argiloso foi estudada por Iaia *et al.* (2006) na cultura de cana-de-açúcar e observaram redução gradativa da RMSP com o aumento da profundidade. Os maiores níveis de RMSP foram verificados até 25 cm, e a partir desta até 50

cm decresceram, evidenciando duas camadas distintas. Somente a partir de 45 cm a RMSP foi inferior ao nível considerado, pelos autores, crítico para o crescimento das raízes (2 MPa). Segundo Beutler *et al.* (2006), valores de 2,0 a 3,0 MPa são limitantes à produtividade de soja.

A resistência do solo à penetração apresenta relação direta com a densidade do solo, sendo que sua determinação deve ser realizada no conteúdo de água retida na capacidade de campo (BENGOUGH *et al.*, 2001). Contudo, no campo, isso nem sempre é possível, dessa forma, realiza-se a determinação da umidade no perfil do solo associada à RMSP.

## 2.14 Perfilômetro

Gamero e Benez (1990) definem perfilômetro como sendo um equipamento constituído por régua paralelas de madeira com perfuração equidistante ao longo de seu comprimento, através dos quais deslizam hastes perpendiculares ao comprimento das régua paralelas. O perfilômetro foi proposto primeiramente por Allmaras *et al.* (1966) para determinação do índice de rugosidade superficial.

Gamero e Benez (1990) utilizaram o perfilômetro para determinação da área mobilizada após ter sido preparada com enxada rotativa, definindo a área de solo mobilizada como sendo a área situada entre o perfil original e o perfil de fundo de um sulco de preparo do solo, enquanto a área de elevação é aquela situada entre o perfil original e o perfil da superfície do solo após a mobilização.

Carvalho Filho *et al.* (2007) utilizaram um perfilômetro para avaliação da área mobilizada, área de elevação, do empolamento do solo, do índice de rugosidade e da modificação da rugosidade do solo para a comparação da rugosidade antes e após a mobilização de um Latossolo Vermelho distrófico após o preparo. Os autores concluíram, a partir dos dados levantados pelo perfilômetro, que o escarificador proporcionou menor empolamento e maior índice de rugosidade do solo, enquadrando-se como preparo conservacionista por desestruturar menos o solo, podendo colaborar com as menores perdas de solo por erosão.

O perfil mobilizado do solo é um fator de grande importância para a condição inicial e final da camada do solo preparado. Os fenômenos decorrentes da operação de preparo do solo são o deslocamento vertical do perfil do solo, e a sua área mobilizada, sendo obrigatório o levantamento de três perfis: o perfil da superfície natural, da superfície final e o perfil interno do solo mobilizado. O perfil da superfície final é obtido com o perfilômetro

colocado no mesmo local que se encontrava para avaliação do perfil de superfície natural, enquanto que o perfil interno do solo mobilizado, perfil de subsuperfície, é obtido após a retirada do solo mobilizado pelo equipamento, no mesmo local que os perfis anteriores. A avaliação das áreas entre os perfis pode ser determinada por meio de gráficos, utilizando-se de técnicas de planimetria ou programas computacionais. (DANIEL; MARETTI,1990).

Silva *et al.* (2002) avaliaram os efeitos do arado de aiveca e enxada rotativa na camada mobilizada do solo e observaram que o arado de aiveca proporcionou maiores áreas de mobilização de elevação e mobilização total comparados à enxada rotativa.

Furlani (2000), avaliando três sistemas de preparo do solo (convencional, escarificação e plantio direto), observou que a superfície do solo, após as operações de preparo, semeadura, cultivos e chuvas, voltou a sua condição original, destacando que, durante a safra da cultura, tem-se aos poucos o retorno à condição original.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A montagem dos circuitos eletrônicos foi realizada no Núcleo de Estudos de Máquinas Agrícolas do Semiárido (NEMASA) e as coletas de campo na área experimental pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal de Ceará.

#### 3.1 Local do estudo

As coordenadas geográficas da área do experimento são: 3°44' de latitude Sul e 38°33' de longitude Oeste e altitude média de 19,5 m. Conforme a classificação de Köppen, a região do estudo é definida como Aw', que indica tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono (KOPPEN, 1923, citado por PINTO, 2008) e temperatura média em todos os meses superiores a 18°C.

O experimento foi conduzido no mês de setembro de 2012, em um Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006). A área do experimento, apresentada na Figura 3, é utilizada para a realização das aulas práticas de mecanização agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola, causando compactação. Pouco tempo antes da realização do experimento a área foi gradeada e arada.

Figura 3 - Área experimental



Fonte: Autora.

### 3.2 Características físicas do solo da área do estudo

Para a determinação das propriedades físicas do solo foram coletadas amostras indeformadas, com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland com cilindros de 5cm de comprimento e 4,8 cm de diâmetro, nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm e 10-15 cm, para cada profundidade eram realizadas três repetições. Coletou-se também amostras deformadas que eram armazenadas em latas de alumínio, lacradas e identificadas. Em seguida as amostras foram levadas ao laboratório para realização das devidas análises.

Na Tabela 1 estão os resultados encontrados com as amostras indeformadas de densidade de partículas e densidade do solo, com as amostras deformadas chegou-se a umidade e sua granulometria, ambas seguindo a metodologia adotada pela EMBRAPA (1997). A análise granulométrica da amostra de solo resultou em teores de: areia com 83 %, teores de argila 11 % e teores de silte 6 % da amostra. O índice de cone médio da área varia de 2500 a 3000 kPa.

Tabela 1 – Características físicas do solo da área do experimento

Profundidade	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade das partículas (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade do solo (g/100g)	Classe textural
0- 5	1,39	2,65	5,53	Areia Franca
5-10	1,40	2,65	5,31	Areia Franca
10-15	1,40	2,67	5,46	Areia Franca

Fonte: Laboratório de Análises de Água e Solo (UFC).

### 3.3 Resistência do solo a penetração

Para determinar a resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrógrafo eletrônico modelo PNT 2000 da DGL Automação®, com ponteira cônica de aço inoxidável, fixada na extremidade inferior da haste de penetração, com área basal de 130 mm<sup>2</sup>. A extremidade superior da haste está conectada a uma célula de carga que registra a resistência oferecida pelo solo à penetração. As leituras obtidas são gravadas na memória do aparelho e em seguida os dados são descarregados em um computador para ser realizada a leitura.

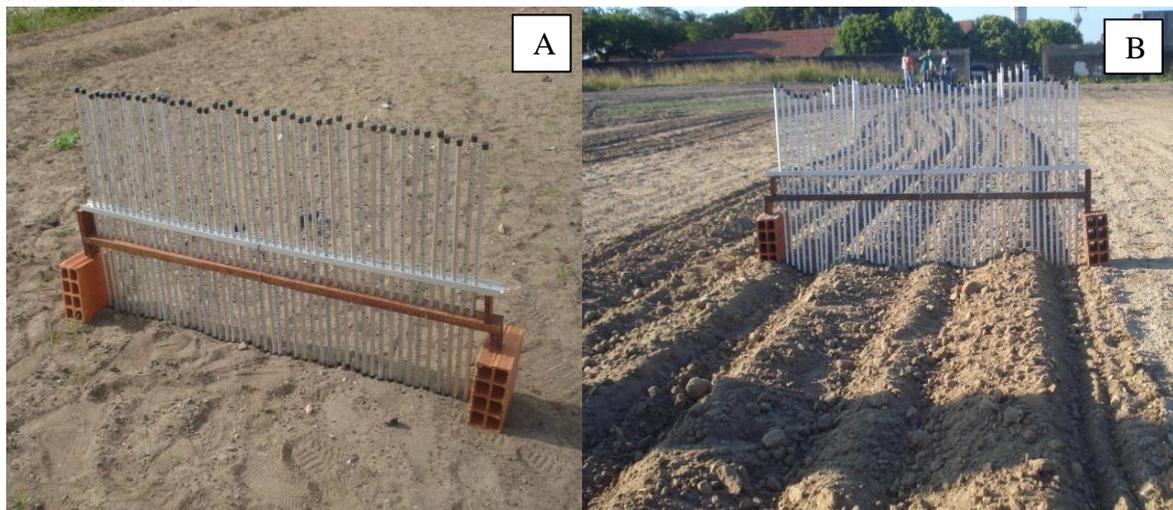
Para se determinar o valor médio da resistência do solo à penetração, foram feitas cinco leituras de forma aleatória dentro da área do experimento na profundidade de 0 a 15 cm antes de iniciar os ensaios.

### 3.4 Perfil do solo mobilizado

Para a obtenção do perfil de solo mobilizado utilizou-se um perfilômetro, constituído de uma armação metálica fixada em uma madeira de 1,40 cm de largura, perpendicular a essa armação foram posicionadas 47 varetas de alumínio, com diâmetro de 1,3 cm e altura de 70 cm, equidistantes 1,5 cm, graduada de 0,5 cm.

A Figura 4 (A) mostra o perfilômetro colocado no sentido transversal ao deslocamento do microtrator, montado sobre uma base previamente nivelada, para obter o perfil natural da área em estudo e a Figura 4 (B), após a passagem do microtrator, para se obter o perfil de elevação.

Figura 4 – Detalhamento do perfilômetro antes (A) e depois (B) da passada do microtrator-rotocanteirador



Fonte: Autora.

### 3.5 Microtrator

Para os ensaios foi utilizado um microtrator de duas rodas, marca Yanmar Agritech, modelo TC14S, 2 x 2, potência de 10,3 kW a 2.400 rpm, massa total de 498 kg, equipados com pneus 6-12 nas rodas motrizes com pressão recomendada pelos fabricantes de 14psi (96,53 kPa), a diesel, partida elétrica e manivela, 6 marchas a frente e 3 ré, farol com luz baixa e alta. Informações retiradas do manual do fabricante.

A Figura 5 mostra o microtrator instrumentado com dois sensores indutivos instalados nas rodas motrizes, duas provetas que possuem mangueiras ligadas ao sistema de alimentação e retorno para mensurar o consumo de combustível e um sensor de força instalado no sistema de engate.

Figura 5 – Microtrator utilizado no experimento



Fonte: Autora.

### 3.6 Conjunto mecanizado utilizado no experimento

Para realização do experimento utilizou-se um sistema de comboio (Figura 6) composto por um segundo microtrator da marca Yanmar Agritech, modelo TC14S (Super) com as mesmas características do microtrator ensaiado, servindo para acoplar o rotoencanteirador e dar suporte à célula de carga.

Na realização dos testes o microtrator de apoio permaneceu desengatado e com o motor funcionando em baixa rotação para não tendenciar os dados do microtrator teste responsável por tracionar o comboio. Acoplado ao segundo microtrator estava o rotoencanteirador, modelo TA33 com 750mm de largura, profundidade do corte 200mm, forma canteiros de 1 metro de base com 0,8 metro de topo.

Figura 6 – Comboio utilizado no experimento



Fonte: Autora.

### 3.7 Sistema de aquisição de dados

A aquisição dos dados vindos dos sensores das rodas e o tempo foi feita com o auxílio de um circuito microcontrolador, PIC 18F452, da família Microchip. Esses circuitos eram responsáveis pela contagem dos dados e interrupções dos mesmos através de botões fixados nas caixas de plástico, onde foram acondicionados os circuitos eletrônicos, a visualização dos dados era feita através de um display de LCD. Os circuitos contadores eram ligados a bateria do trator de rabiças com o auxílio de um conversor de tensão que transformava a tensão da bateria de 12V para 5V necessários para alimentar o circuito e não queimar o sistema. Os dados de força de tração eram recebidos por uma aquisidora de dados da célula de carga, da marca HBM e não necessitava de fonte de alimentação para seu funcionamento.

### 3.8 Sensores utilizados na instrumentação do microtrator

#### 3.8.1 *Sensor indutivo*

O sensor indutivo é um dispositivo eletrônico capaz de detectar a aproximação de peças metálicas sem que haja contato físico entre o sensor e o metal. Tem como princípio de funcionamento a geração de um campo eletromagnético de alta frequência, gerado por uma

bobina ressonante na face sensora. Foram desenvolvidos para obtenção de leituras em altas velocidades com a máxima confiabilidade.

No momento em que o sensor se aproxima de uma peça metálica um campo magnético é gerado, quando se afasta o campo se desfaz, a cada momento em que isso acontece, os domínios magnéticos mudam de posição fazendo com que a resistência elétrica mude de valor gerando um pulso.

Figura 7 – Sensor indutivo localizado na roda do microtrator



Fonte: Autora.

### 3.8.2 Célula de carga

A célula de carga é um transdutor que converte uma força, agindo sobre ela, em um sinal elétrico analógico através da deformação física de medidores de deformação, que são colados no bloco da célula de carga e são ligados em forma de ponte de Wheatstone. Uma carga aplicada na célula, em compressão ou tensão, produz uma deflexão no bloco, que transmite deformação aos medidores. A deformação produz uma alteração na resistência elétrica proporcional à carga.

## 3.9 Parâmetros avaliados

### 3.9.1 Velocidade de deslocamento

Para mensurar a velocidade de deslocamento foi cronometrado o tempo necessário para percorrer 25 metros de comprimento. Cada extremidade da parcela tinha uma baliza para determinar o momento exato em que o microtrator iniciou e terminou o percurso.

$$V_m = \frac{s}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Em que:

$V_m$  = velocidade média ( $m \cdot s^{-1}$ );

s = espaço percorrido (m);

t = tempo decorrido (s).

### 3.9.2 Patinamento dos rodados

Para determinação do patinamento foram utilizados dispositivos constituídos por roda dentada, composta por 12 dentes e sensores indutivos, modelo LM18 3008PA, acoplados as duas rodas motrizes, os quais realizaram a conversão de movimentos rotativos em pulsos elétricos, gerando 12 pulsos por volta dos rodados.

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nas rodas motrizes foi possível determinar a patinagem através da equação, conforme Mialhe (1996):

$$Pat = \frac{(N_{pc} - N_{ps})}{N_{pc}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Em que:

Pat = patinagem (%);

$N_{ps}$  = número de pulsos da roda sem carga;

$N_{pc}$  = número de pulsos da roda com carga.

### 3.9.3 Consumo horário de combustível

Para a medição do consumo horário de combustível utilizou-se duas provetas, uma instalada no sistema de alimentação e outra no retorno do combustível para o tanque de combustível (Figura 8). As provetas foram instaladas na frente do microtrator, o valor era obtido de forma direta na proveta graduada, esse valor foi dividido pelo tempo que o comboio levou para percorrer a parcela.

Figura 8 – Provetas para medição do consumo de combustível



Fonte: Autora.

O consumo horário de combustível foi obtido conforme Equação 3:

$$Chv = \frac{v}{t} \times 3,6 \dots \dots \dots (3)$$

Em que:

$Chv$  = consumo horário volumétrico ( $L h^{-1}$ );

$v$  = volume lido na proveta (mL);

$t$  = tempo de percurso na parcela (s);

3,6 = fator de conversão.

#### 3.9.4 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível mostra o consumo por unidade de potência na barra de tração. Para o cálculo utilizou-se a Equação 4, onde a densidade do combustível calculada em laboratório foi de  $500 g L^{-1}$ .

$$C_{esp} = \frac{Ch \times d}{P_b} \dots \dots \dots (4)$$

Em que:

$C_{esp}$  = consumo específico de combustível ( $g.kW^{-1}.h^{-1}$ );

$c_h$  = consumo horário do combustível ( $L \cdot h^{-1}$ );

$d$  = densidade do combustível ( $g \cdot L^{-1}$ );

$p_b$  = potência na barra (kW).

### 3.9.5 Força de tração na barra

Para a mensuração da força de tração utilizou-se uma célula de carga da marca HBM, modelo RSCC, com capacidade suporte de até 10 kN. Foi utilizado para coleta dos dados da célula de carga um sistema de aquisição de dados da marca HBM, modelo QuantumX MX804A. A célula de carga foi tracionada entre o microtrator instrumentado e o sistema de comboios.

Os sinais gerados pela célula de carga foram armazenados no sistema de aquisição de dados. Com os valores obtidos foi possível determinar a força de tração média utilizando a Equação 4.

$$F_{tm} = \frac{\sum F_i}{t_p} \dots\dots\dots (4)$$

em que:

$F_{tm}$  = força de tração média (kN);

$F_i$  = força de tração instatânea ( $kN \cdot s^{-1}$ );

$t_p$  = tempo de percurso (s).

### 3.9.6 Potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração foi calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 5:

$$P_{bt} = \frac{F_m \times V_m}{3,6} \dots\dots\dots (5)$$

Em que:

$P_{bt}$  = potência na barra de tração (kW);

$F_m$  = força de tração média (kN);

$V_m$  = velocidade de deslocamento ( $km \cdot h^{-1}$ );

3,6 = fator de conversão.

### 3.9.7 Perfil do solo mobilizado

O perfilômetro foi posicionado no sentido transversal ao deslocamento do microtrator e o sistema de comboio, o local exato da leitura foi marcado para ter certeza que as leituras fossem sobrepostas, em seguida os dados anotados foram inseridos no computador e os cálculos do perfil do solo mobilizado foi obtido pela diferença das cotas observadas após o preparo do solo e as cotas antes do ensaio, utilizando as Equações 7 e 8:

$$A = h \cdot L \dots\dots\dots (6)$$

$$h = \frac{[(F1-I1)+(F2-I2)+\dots+(Fn-In)]}{N} \dots\dots\dots (7)$$

Onde:

A = área do perfil mobilizado (cm<sup>2</sup>);

h = altura média das hastes (cm);

L = largura de trabalho do implemento (cm);

I = altura da haste do perfilômetro no perfil mobilizado (cm);

F= altura da haste do perfilômetro no não perfil mobilizado (cm);

N= número de hastes.

### 3.9.8 Pressão de inflação dos pneus

Utilizou-se no microtrator pneus da marca Pirelli TG 22, a pressão de inflação sugerida pelo fabricante foi de 14 psi 96,53 KPa (14 psi). Os pneus utilizados não eram novos e as garras se encontravam pouco desgastadas.

Analisou-se três pressões diferentes de inflação dos pneus: 110,32 kPa (16 psi) (acima da recomendada pelo fabricante), 96,53 kPa (14 psi) (recomendada pelo fabricante) e 82,74 kPa (12 psi) (inferior a recomendada pelo fabricante). Antes de iniciar os testes, a pressão dos pneus era verificada para garantir a pressão desejada. Caso a pressão verificada não fosse a desejada era realizada a calibração dos pneus com um compressor do tipo portátil.

Figura 9 – Verificação da pressão de inflação dos pneus do microtrator antes de ir para o campo e durante a realização dos testes



Fonte: Autora.

### 3.9.9 *Lastro*

Os testes foram realizados de duas maneiras: a primeira com o microtrator trabalhando sem lastros e a segunda com adição de 20 kg de lastros do tipo sólido colocados na parte interna de cada roda do microtrator (Figura 10).

Figura 10 – Momento da colocação dos lastros nas rodas do microtrator



Fonte: Autora.

### 3.9.10 *Capacidade operacional teórica*

Para os cálculos da capacidade operacional teórica ( $C_o$ ) do microtrator-rotocanteirador utilizou-se a equação 8:

$$Co = \frac{V \times L}{10} \dots\dots\dots (8)$$

onde:

Co = capacidade operacional teórica (ha h<sup>-1</sup>);

V = velocidade de trabalho, (Km h<sup>-1</sup>);

L = largura de trabalho (m).

### 3.9.11 Capacidade de campo efetiva

Para os cálculos da capacidade de campo efetiva (Cef) utilizou-se a equação 9:

$$Ce = \frac{Atr}{t} \times 0,36 \dots\dots\dots (9)$$

Onde:

Ce = Capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>);

Atr = Área útil da parcela trabalhada (m<sup>2</sup>);

t = Tempo gasto no percurso da parcela (s);

0,36 = Fator de conversão.

### 3.9.12 Eficiência

Foi indicada com a relação entre a capacidade operacional efetiva e a capacidade teórica.

$$f = \frac{CE}{CO} \dots\dots\dots (10)$$

Onde:

f = Eficiência;

CE = Capacidade de campo efetiva (ha · h<sup>-1</sup>);

CO = Capacidade operacional teórica (ha · h<sup>-1</sup>).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos dados de velocidade de deslocamento, patinagem dos rodados, consumo horário e específico de combustível, força de tração e potência disponível, capacidade operacional e efetiva e eficiência de campo estão apresentados em tabelas e gráficos dentro dos tópicos descritos conforme a interação entre os fatores estudados e a seqüência de procedimentos adotados no desenvolvimento desse trabalho. Foram submetidos a uma análise de variância, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando o Software Assistat versão 7.6 beta (2012).

O conjunto percorreu um espaço 25 m, realizou-se dois experimentos fatoriais, o primeiro com o microtrator sem lastro e outro com o uso de lastros, cada experimento foi composto de dois fatores: marchas (1ª, 2ª e 3ª) e pressão de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 KPa, com 5 repetições cada.

### 4.1 Velocidade de deslocamento

Os resultados para a velocidade de deslocamento do microtrator com e sem lastro tracionando um conjunto microtrator-rotoencanteirador encontram-se na Tabelas 2 e Figuras 12 e 13.

Na Tabela 2 pode-se observar que houve diferenças significativas na velocidade de deslocamento, quando se trabalhou nas três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) com o microtrator trabalhando sem lastro. Os valores médios de velocidade de deslocamento foram de  $0,292 \text{ m.s}^{-1}$  (1ª marcha),  $0,381 \text{ m.s}^{-1}$  (2ª marcha) e  $0,421 \text{ m.s}^{-1}$  (3ª marcha). Com a mudança de marcha, utilizando sempre a mesma rotação, a velocidade tendeu a aumentar, pois o comboio percorreu um mesmo espaço em um menor tempo. Na Tabela 2 pode-se observar que não houve diferenças significativas quando se testou as três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi). As médias encontradas de velocidade foram de  $0,359 \text{ m.s}^{-1}$  (110,32 kPa),  $0,360 \text{ m.s}^{-1}$  (96,53 kPa) e  $0,374 \text{ m.s}^{-1}$  (82,74 kPa).

Ao se adicionar lastro observar-se que houve diferença entre as velocidades de deslocamento nas diferentes marchas (Tabela 2). A velocidade variou entre 0,29 a  $0,35 \text{ m.s}^{-1}$  (1ª marcha); 0,32 a  $0,41 \text{ m.s}^{-1}$  (2ª marcha) e 0,35 a  $0,45 \text{ m.s}^{-1}$  (3ª marcha). Os valores médios foram de  $0,32 \text{ m.s}^{-1}$  (1ª marcha),  $0,35 \text{ m.s}^{-1}$  (2ª marcha) e  $0,39 \text{ m.s}^{-1}$  (3ª marcha). As pressões de 96,53 e 82,74 kPa (14 e 12 psi), não apresentaram diferenças significativas entre si, mas as

duas diferiram na pressão de 110,32 kPa (16 psi). As médias de velocidade foram de 0,37 m.s<sup>-1</sup> (110,32 kPa), 0,35 m.s<sup>-1</sup> (96,53 kPa) e 0,34 m.s<sup>-1</sup> (82,74 kPa).

Tabela 2 - Síntese da análise de variância dos valores médios de velocidade de deslocamento (m.s<sup>-1</sup>), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 KPa (16, 14 e 12 psi)

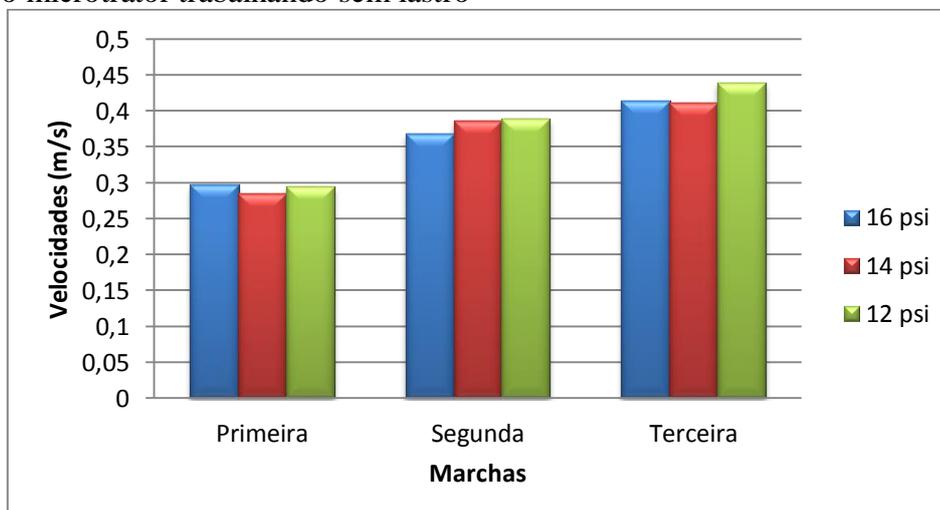
Fatores	Velocidade de deslocamento (m.s <sup>-1</sup> )	
	Sem lastro	Com lastro
Marcha		
1 <sup>a</sup>	0,292 c	0,321 c
2 <sup>a</sup>	0,381 b	0,353 b
3 <sup>a</sup>	0,421 a	0,397 a
Pressões (kPa)		
110,32	0,359 a	0,376 a
96,53	0,360 a	0,353 b
82,74	0,374 a	0,342 b
Teste F		
Marchas	88,020 **	54,053 **
Pressão	1,275 ns	11,322 **
Marcha x Pressão	0,703 ns	1,577 ns
CV(%)	7,47	5,62

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores.

ns - não significativo (p > 0,05), \* significativo (p < 0,05), \*\* significativo (p < 0,01), CV - Coeficiente de variação.

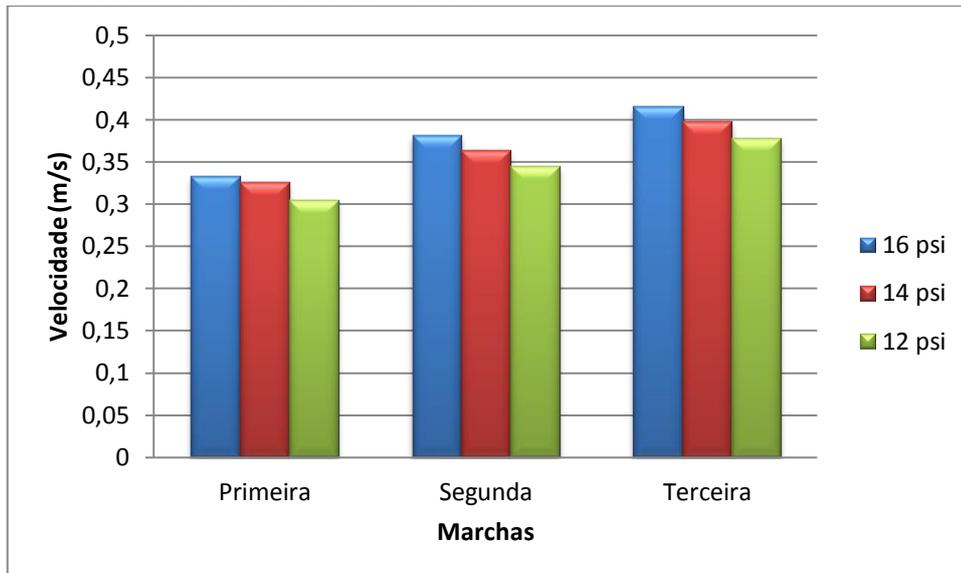
A Figura 11 mostra graficamente que houve diferenças na velocidade de deslocamento quando se variou a marcha de trabalho, mas não houve diferenças entre as pressões testadas.

Figura 11 - Velocidade de deslocamento (m.s<sup>-1</sup>) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro



A Figura 12 apresenta graficamente os resultados encontrados com o microtrator trabalhando com lastro o aumento da pressão de inflação proporcionou um aumento na velocidade de deslocamento.

Figura 12 - Velocidade de deslocamento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro



Nascimento (2012) avaliando o desempenho operacional de um microtrator tracionado um sistema de comboio (microtrator-pulverizador de barra) em um solo firme encontrou valores de velocidade variando de 0,33 a 0,30  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (1ª marcha); 0,36 a 0,30  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (2ª marcha) e 0,41 a 0,38  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (3ª marcha) com pressão de inflação nos pneus de 14 psi.

Silva (2012) estudando o desempenho de um microtrator acoplado a um segundo microtrator utilizado para acoplar o arado de disco e dar suporte à célula de carga encontrou valores de velocidade de 0,27  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 0,33  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  e 0,40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  para 1ª, 2ª e 3ª marchas, respectivamente.

Furlani *et al* (2010), ao avaliar o desempenho de um trator em função da velocidade e da pressão de inflação dos pneus da semeadora observou que a pressão de inflação não teve influência para a velocidade de deslocamento.

## 4.2 Patinamento dos rodados

Os resultados de patinagem do microtrator com e sem lastro tracionando um comboio microtrator-rotoencanteirador encontram-se nas Tabelas 3 e Figuras 13 e 14.

Na Tabela 3 pode-se observar que os valores médios de patinagem diferiram estatisticamente entre as três marchas avaliadas. Para as pressões de inflação não houve diferenças estatística. Pode-se observar que com o aumento da velocidade obteve-se um aumento da patinagem. A Tabela 3 mostra resultados semelhantes a aqueles encontrados quando se trabalhou sem lastro, não teve diferença estatística com a mudança de marcha. Para as diferentes pressões, 110,32 kPa diferiu estatisticamente da pressão de 82,74 kPa, a 96,53 apresentou características das duas outras pressões.

Tabela 3 - Síntese da análise de variância dos valores médios de patinagem, quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi)

Fatores	Patinamento (%)	
	Sem lastro	Com lastro
Marcha		
1 <sup>a</sup>	11,226 c	10,593 c
2 <sup>a</sup>	12,453 b	11,226 b
3 <sup>a</sup>	16,006 a	14,620 a
Pressões (kPa)		
110,32	13,220 a	11,853 b
96,53	13,120 a	12,146 ab
82,74	13,346 a	12,440 a
Teste F		
Marchas	179,588 **	446,033 **
Pressão	0,376 <sup>ns</sup>	8,186 **
Marchas X Pressão	2,242 <sup>ns</sup>	6,287 **
CV(%)	5,46	3,27

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores.

ns - não significativo ( $p > 0,05$ ), \* significativo ( $p < 0,05$ ), \*\* significativo ( $p < 0,01$ ), CV - Coeficiente de variação.

Silva (2012) afirma que a força de tração tem uma relação direta com o raio do pneu, ou seja, se aumentar o raio do pneu, conseqüentemente a força de tração diminui e com isso a patinagem também diminui. Nesse estudo o raio do pneu é bastante pequeno, solicitando do motor uma força de tração maior, resultando em uma patinagem também maior.

Nascimento (2012) avaliando a patinagem de um microtrator tracionando um comboio encontrou valores médios de patinagem foram de 11,9 a 16,9% (1<sup>a</sup> marcha), 11,2 a 15,5% (2<sup>a</sup> marcha) e de 10,6 a 14,0% (3<sup>a</sup> marcha).

Silva (2012) trabalhando também medindo a patinagem de um microtrator, encontrou valores médios da patinagem encontrados para a primeira marcha foi de 10%, na segunda marcha foi de 12% e para a terceira marcha à patinagem chegou a 18%.

Figura 13 – Patinagem dos rodados (%) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 KPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro

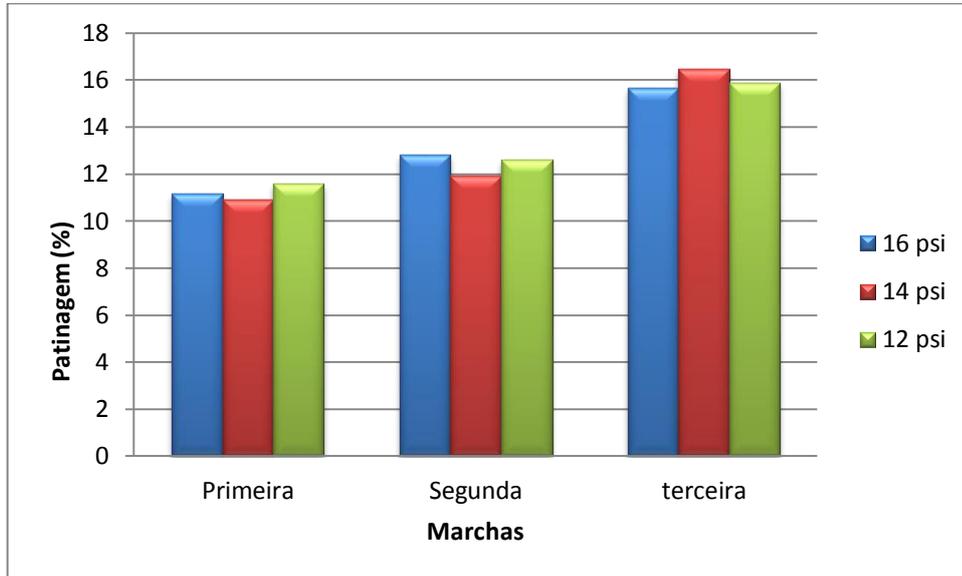
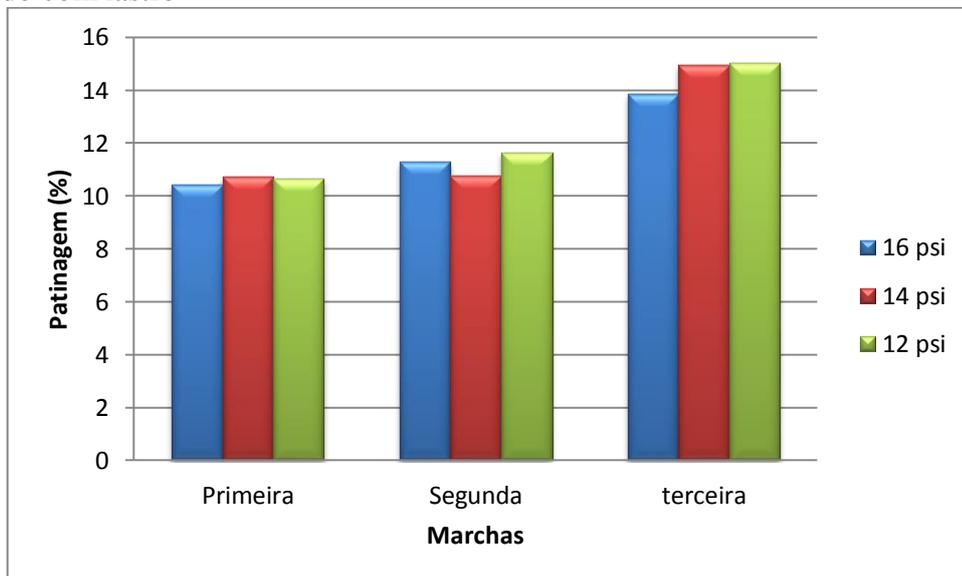


Figura 14 – Patinagem (%) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro



### 4.3 Consumo horário de combustível

Na Tabelas 4 e Figuras 15 e 16 encontram-se os valores médios do consumo horário de combustível consumido pelo microtrator tracionando o conjunto microtrator-rotocanteirador trabalhando sem lastro e com lastros.

Na Tabela 4 pode-se observar que houve diferenças significativas no consumo de combustível quando se trabalhou nas diferentes marchas. O consumo de combustível para a 1ª marcha variou de 3,09 a 3,6 L.h<sup>-1</sup>; 3,63 a 3,91 L.h<sup>-1</sup> para a 2ª marcha e 3,79 a 4,2 L.h<sup>-1</sup> para a 3ª marcha.

Quando se avaliou o consumo de combustível nas diferentes pressões observa-se que a pressão de 96,53 kPa diferiu da pressão de 82,74 kPa.

Os valores de consumo de combustível do microtrator trabalhando com o lastro encontram-se na Tabela 4 e Figura 17. Pode-se constatar que o consumo de combustível apresentou diferenças estatísticas com a variação das três marchas, como já era de se esperar. Quando se variou a pressão não se obteve diferença estatística.

Tabela 4 - Síntese da análise de variância dos valores médios de consumo horário de combustível (L.h<sup>-1</sup>), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1ª, 2ª e 3ª) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi)

Fatores	Consumo de combustível (L.h <sup>-1</sup> )	
	Sem lastro	Com lastro
Marcha		
1ª	3,410 c	3,166 c
2ª	3,755 b	3,544 b
3ª	3,961 a	3,885 a
Pressões (kPa)		
110,32	3,702 ab	3,580 a
96,53	3,770 a	3,451 a
82,74	3,654 b	3,564 a
Teste F		
Marchas	111,795 **	91,623 **
Pressão	4,880 **	3,508 **
Marchas X Pressão	9,011 **	4,138 **
CV(%)	2,75	4,12

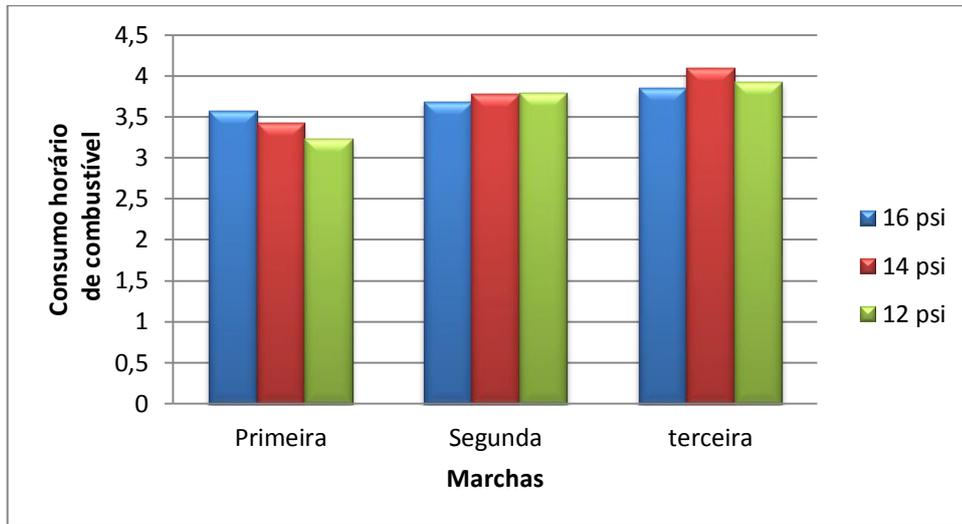
Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores.

ns - não significativo ( $p > 0,05$ ), \* significativo ( $p < 0,05$ ), \*\* significativo ( $p < 0,01$ ), CV - Coeficiente de variação.

Nascimento (2012) afirma que o consumo de combustível tem relação direta com o aumento da força de tração, ou seja, à medida que aumenta a demanda energética, o consumo de combustível aumenta significativamente.

A Figura 15 apresenta graficamente os valores obtidos de consumo de combustível.

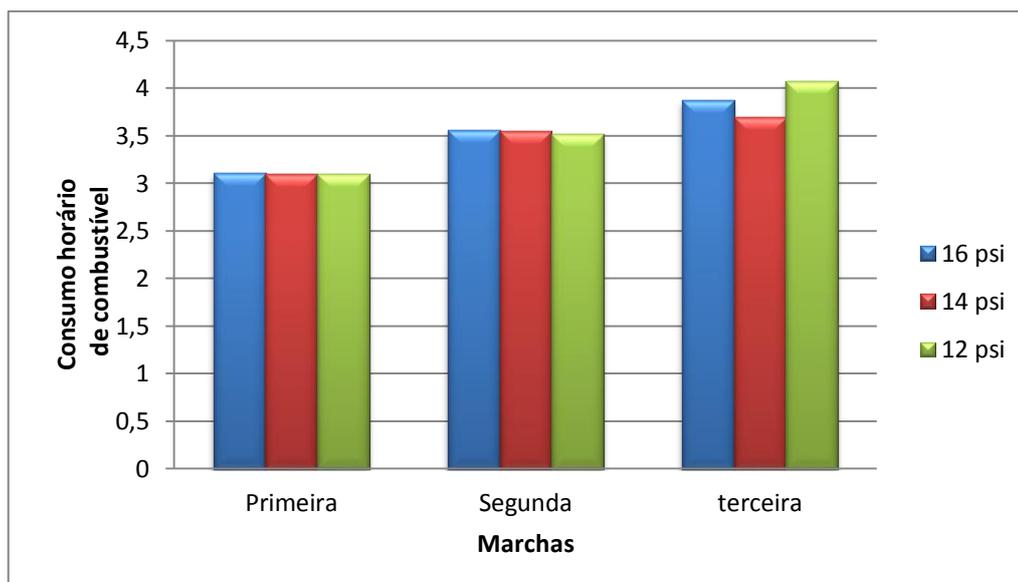
Figura 15 – Consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro



Nascimento (2012) testando um microtrator equipado com um fluxômetro da marca “Flowmate” oval, modelo M-III, onde um foi instalado próximo ao filtro de combustível, trabalhando em solo firme com cobertura vegetal, obteve valores médios de 3,3  $L.h^{-1}$  (1ª marcha), 3,4  $L.h^{-1}$  (2ª marcha) e de 3,5  $L.h^{-1}$  (3ª marcha).

Silva (2012) avaliando o consumo de combustível de um microtrator tracionando um comboio (microtrator-arado) encontrou valores de consumo de combustível de: primeira, segunda e terceira marcha foram respectivamente 6,58  $L.h^{-1}$ , 5,98  $L.h^{-1}$  e 4,20  $L.h^{-1}$ . Lopes *et al.* (2003) afirmam que o consumo de combustível de tratores agrícolas é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

Figura 16 – Consumo de combustível ( $L.h^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro



#### 4.4 Consumo específico de combustível

Na Tabela 5 e nas Figuras 17 e 18 estão os valores médios do consumo específico de combustível do microtrator tracionando um comboio trabalhando com e sem lastro.

Observando a Tabela 5 pode-se observar que quando o microtrator trabalhou na segunda e terceira marcha, não houve diferença estatística entre suas médias e as duas diferiram da primeira marcha. Para as pressões observa-se que a pressão de 96,53 kPa (14 psi) difere da pressão de 82,74 kPa (12 psi). Quando se avaliou o consumo de combustível nas diferentes pressões a pressão de 96,53 kPa diferiu da pressão de 82,74 kPa.

Já com a adição de lastro o consumo específico trabalhando com a primeira marcha diferiu da terceira marcha. Quando se avalia o consumo nas três diferentes pressões, observa-se que as médias da primeira marcha e da terceira diferiram estatisticamente. Quando se avalia as três diferentes pressões não houve diferença estatística.

Tabela 5 - Síntese da análise de variância dos valores médios de consumo específico de combustível ( $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro e com lastro, em três diferentes marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi)

Fatores	Consumo específico de Combustível ( $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )	
	Sem lastro	Com lastro
Marcha		
1 <sup>a</sup>	2525,050 a	2923,019 b
2 <sup>a</sup>	1829,242 b	3093,446 ab
3 <sup>a</sup>	1918,839 b	3483,048 a
Pressões (kPa)		
110,32	2162,012 ab	3080,760 a

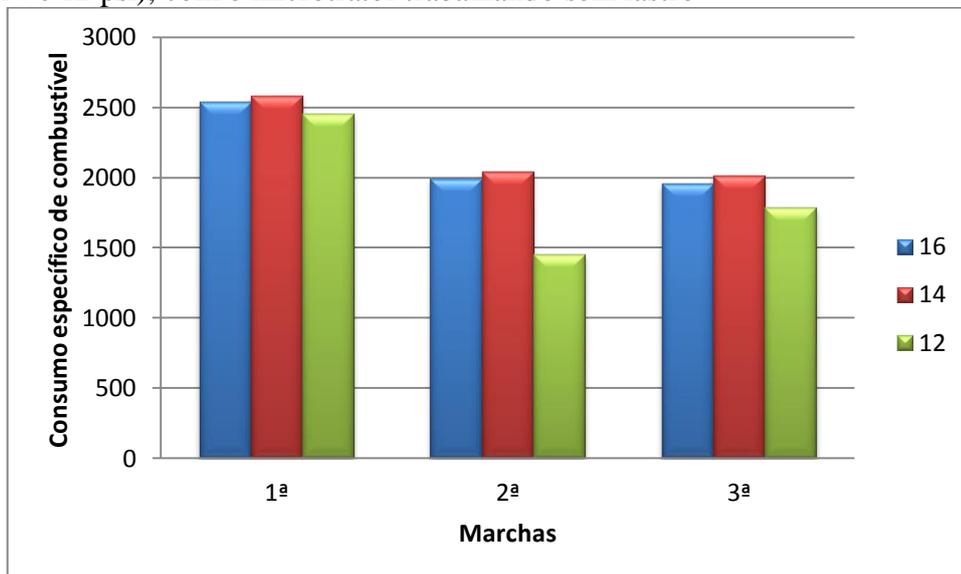
	96,53	2214,753 a	3151,268 a
	82,74	1896,369 b	3267,484 a
Teste F			
Marchas	20,323 **		5,485 **
Pressão	4,130 **		0,591 ns
Marchas X Pressão	0,917 ns		0,259 ns
CV(%)	15,55		14,99

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores.

ns - não significativo ( $p > 0,05$ ), \* significativo ( $p < 0,05$ ), \*\* significativo ( $p < 0,01$ ), CV - Coeficiente de variação.

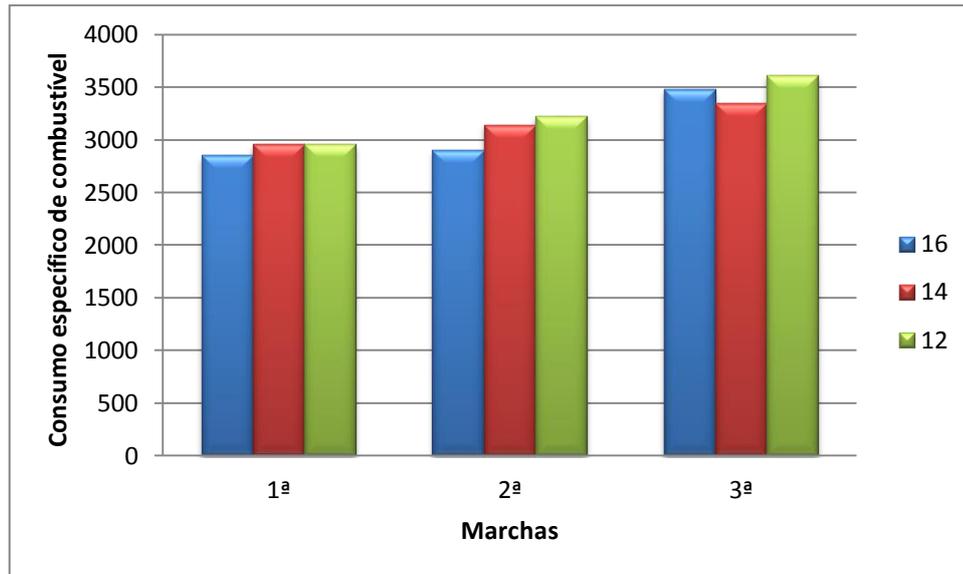
Nascimento (2012) trabalhando em solo mobilizado encontrou valores médios de consumo específico de combustível foram de 1055 a 1198,8  $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (1ª marcha), 1020,1 a 1161,3  $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (2ª marcha) e de 993,8 a 1125,3  $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (3ª marcha). Silva (2012) encontrou valores médios de 3514,09; 4728,22 e 7412,00  $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , para primeira, segunda e terceira marcha, respectivamente.

Figura 17 – Consumo específico de combustível ( $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro



A Figura 18 apresenta graficamente as médias de consumo de combustível específico de combustível nas três diferentes marchas e pressões com o microtrator trabalhando com lastro.

Figura 18 – Consumo específico de combustível ( $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro

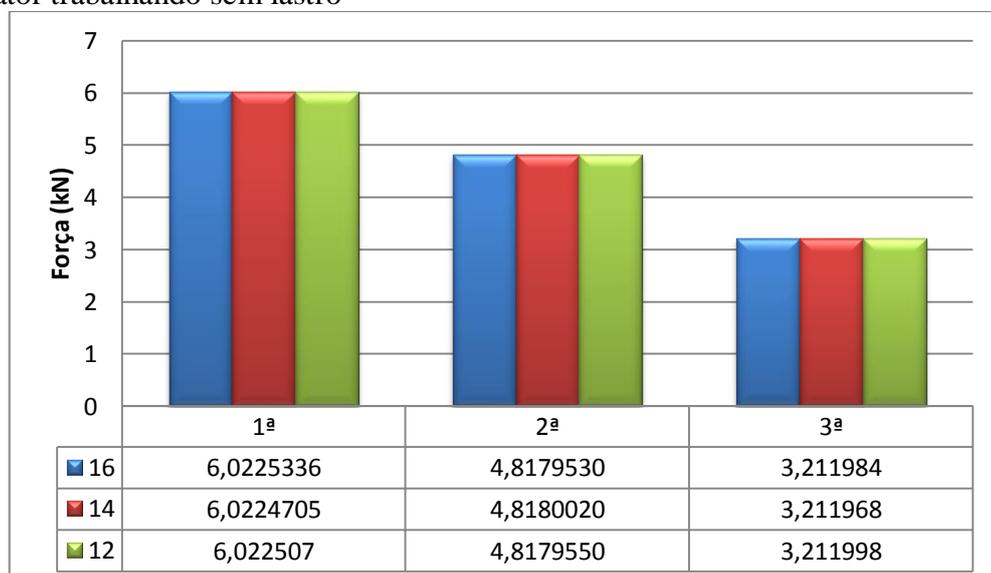


#### 4.5 Força de tração

Os valores de força de tração de um microtrator com e sem lastro tracionando um comboio microtrator-rotoencanteirador encontram-se nas Figuras 19 e 20.

A Figura 19 apresenta os valores médios de força de tração, com o microtrator trabalhando sem lastro, obtidos com auxílio da célula de carga. Quando se trabalhou na primeira marcha, obteve-se valores próximos a 6 kN, na segunda 4 kN e na terceira próximo a 3 kN. Não houve diferença quando se variou a pressão dos pneus.

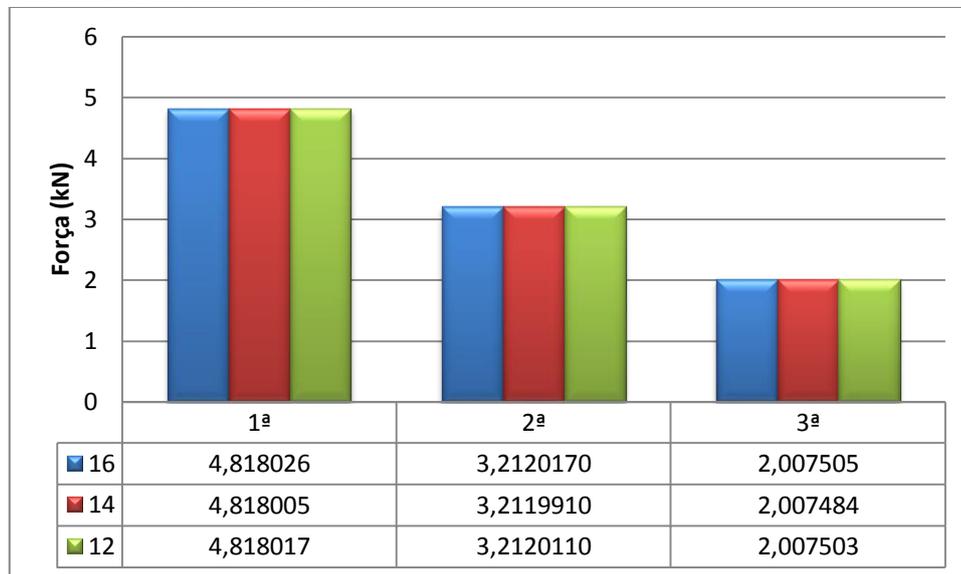
Figura 19 – Força de tração (kN) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro



Silveira 2001 afirma que em altas velocidades, obtém-se menor força de tração, enquanto, em baixa velocidade, alcança-se uma maior força de tração.

Na Figura 20 estão apresentados os valores de força de tração com o microtrator-rotoencanteirador trabalhando com lastros, os valores encontrados são próximos de 4,8; 3,2 e 2,0 kN para primeira segunda e terceira marchas respectivamente. Não apresentaram diferença quando se variou as pressões dos pneus.

Figura 20 – Força de tração (kN) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro



#### 4.6 Potência disponível na barra de tração

Os resultados de potência disponível na barra de tração do microtrator com e sem lastro tracionando um comboio microtrator-rotoencanteirador encontram-se na Tabela 6 e Figuras 21, 22.

A Tabela 6 apresenta a síntese da análise de variância com as médias para as três marchas avaliadas e as três pressões com o microtrator trabalhando sem lastro. As médias mostram que a potência não variou quando se avaliou a primeira e segunda marcha, mas ambas diferiram estatisticamente da terceira marcha. Quando se testou as pressões não houve diferença estatística em nem uma das três pressões testadas.

A Tabela 6 nos mostra que a potência disponível na barra de tração não diferiu com a mudança de marcha. Quando se variou a pressão 110,32 e 96,53 kPa não diferiram,

mas ambas diferiram de 82,74 kPa. Quando se avaliou a potência disponível na barra de tração, observou-se que as médias diferiram estatisticamente avaliando as três marchas. Para as três pressões, 110,32 e 96,53 kPa não diferiram de 82,74 kPa.

Tabela 6 - Síntese da análise de variância dos valores médios de potência disponível na barra de tração (kW), quando se trabalhou com o microtrator sem lastro, em três diferentes marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>) e três pressões 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi)

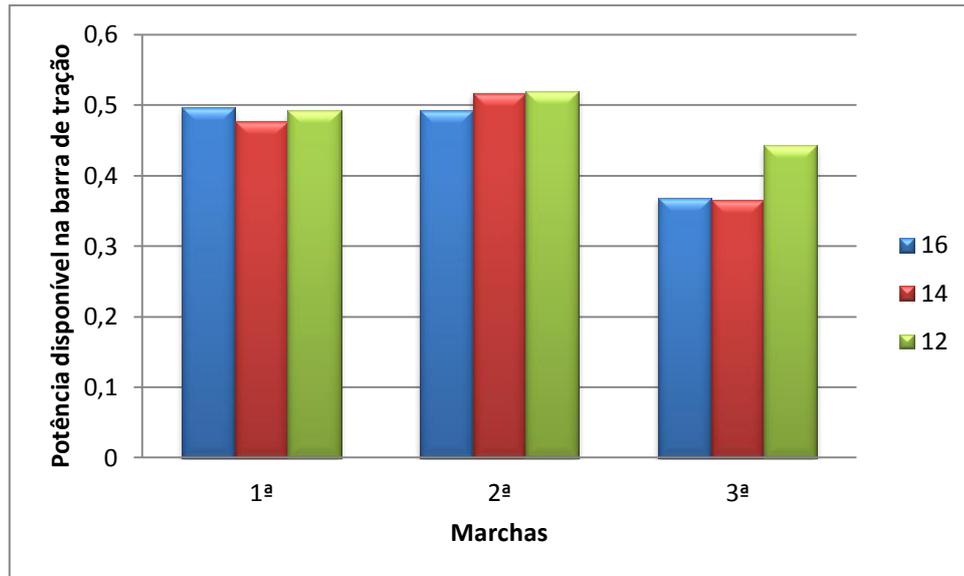
Fatores	Potência disponível na barra de tração (kW)	
	Sem lastro	Com lastro
Marcha		
1 <sup>a</sup>	0,488 a	0,430 a
2 <sup>a</sup>	0,510 a	0,323 b
3 <sup>a</sup>	0,393 b	0,221 c
Pressões (kPa)		
110,32	0,453 a	0,339 a
96,53	0,453 a	0,327 a
82,74	0,485 a	0,308 b
Teste F		
Marchas	19,245 **	540,943 **
Pressão	1,717 <sup>ns</sup>	11,839 **
Marchas X Pressão	1,000 <sup>ns</sup>	0,469 <sup>ns</sup>
CV(%)	2,75	5,34

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e média desacompanhada de letra implica interação entre os fatores.

ns - não significativo ( $p > 0,05$ ), \* significativo ( $p < 0,05$ ), \*\* significativo ( $p < 0,01$ ), CV - Coeficiente de variação.

Os valores médios encontrados com o microtrator trabalhando sem lastros nas três pressões e três marchas estão representadas graficamente na Figura 21.

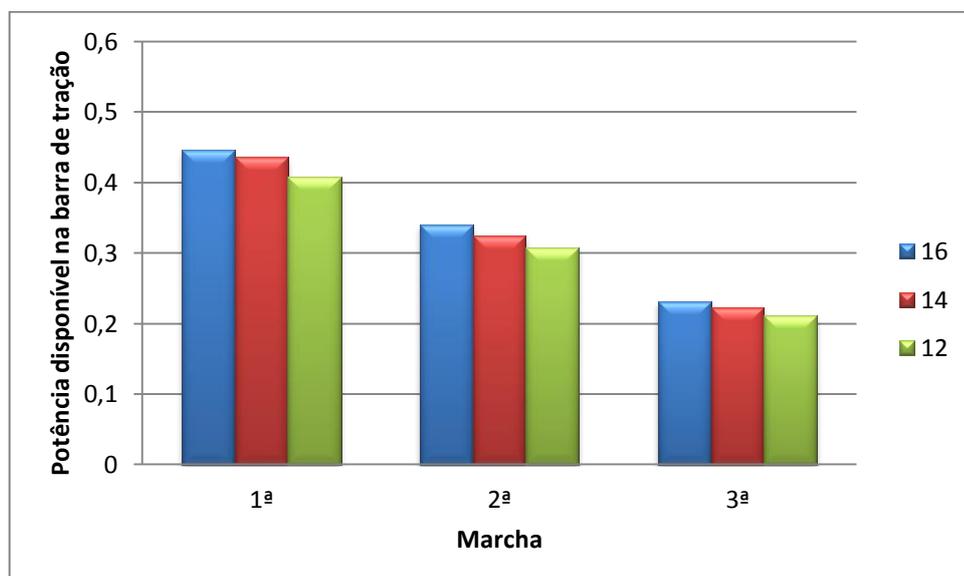
Figura 21 – Potência disponível na barra de tração (kW) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando sem lastro



Silva (2012), encontrou valores médios para potência, em trabalho de aração de 1,54 kW (1ª marcha), 0,83 kW (2ª marcha) e 0,38 kW (3ª marcha). Nascimento (2012), trabalhando em solo mobilizado, encontrou valores médios de potência de 1,6 a 2,0 kW (1ª marcha), 2,0 a 2,3 (2ª marcha) e de 2,3 a 2,6 kW (3ª marcha).

A Figura 22 mostra de forma gráfica as médias dos valores de potência na barra de tração nas diferentes pressões e marchas para o microtrator trabalhando com lastro.

Figura 22 – Potência disponível na barra de tração (kW) em três diferentes marchas (primeira, segunda e terceira) e em três pressões de inflação dos pneus 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi), com o microtrator trabalhando com lastro

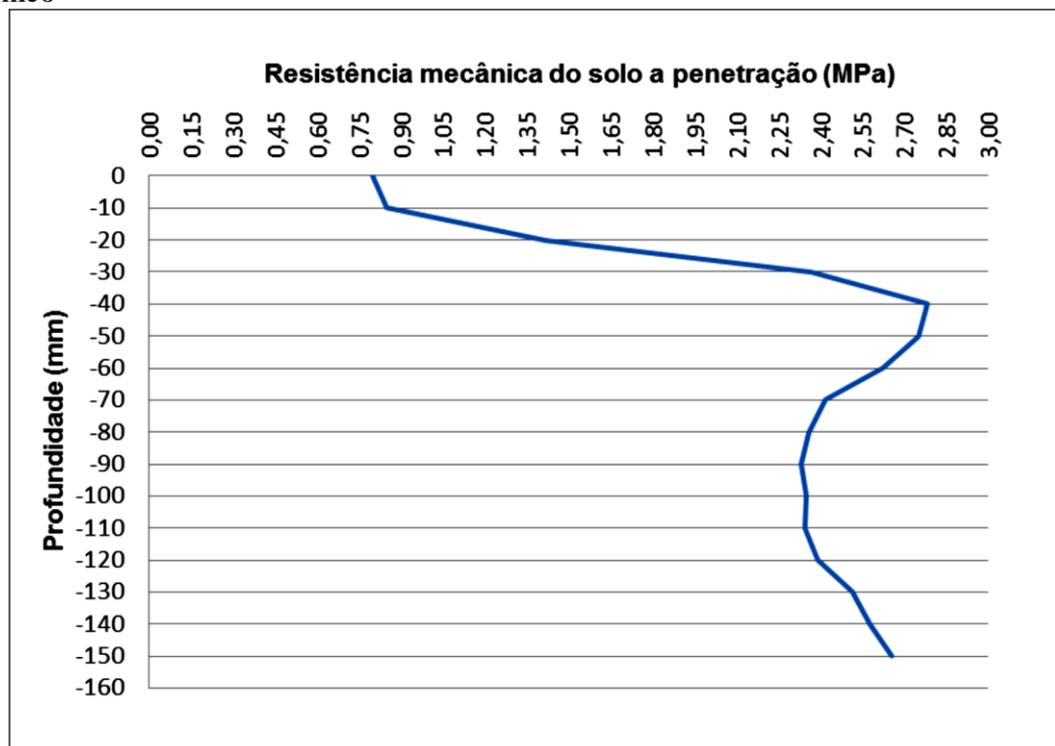


#### 4.7 Resistência à penetração do solo

Com as cinco amostras coletadas na área onde foi realizado o experimento, e todas elas possuíam resistência parecida, obteve-se então médias das amostras gerando um gráfico representativo de toda a área ensaiada. Os resultados da resistência do solo à penetração, obtidos estão apresentados na Figura 23. Observa-se que os valores da resistência mecânica a penetração teve uma média de 2,22 MPa. O maior valor da resistência média encontrava-se a 40 mm da superfície do solo (2,78 MPa) e o menor valor encontrava-se na superfície a 0 mm (0,80 MPa). A partir de 40 mm, os valores de resistência diminuíram e tornaram a aumentar aos 120 mm.

Cavichioli et al. (2012), avaliando a resistência a penetração em um latossolo vermelho Eutroférico mecanizado de cana-de-açúcar utilizando um penetrógrafo eletrônico, encontraram nas fileiras de plantio valores de resistência a penetração variando de 0,67 a 1,71 MPa nas camadas de 0 a 20 cm de profundidade e uma resistência a penetração de 2,82 a 4,25 MPa, na mesma profundidade, entre as fileiras do plantio, onde o tráfego de máquinas é mais intenso.

Figura 23 - Leitura da resistência do solo a penetração em campo utilizando o penetrômetro eletrônico



#### 4.8 Perfil do solo mobilizado

Os valores de área de solo mobilizada estão apresentados na Tabela 7. Observa-se que quando o microtrator-rotoencanteirador trabalhava sem lastro, a maior área mobilizada foi quando se trabalhou em primeira marcha na pressão de 96,53 kPa, formando uma área de 0,0820 m<sup>2</sup>. A menor área mobilizada foi de 0,0354 m<sup>2</sup>, encontrada na terceira marcha a 110,32 kPa. De uma maneira geral, as menores áreas mobilizadas foram encontradas quando se trabalhava na terceira marcha. As áreas mobilizadas variaram entre 0,0820 e 0,0354 m<sup>2</sup>.

Quando o conjunto trabalhou com lastro a maior área foi formada trabalhando a uma pressão de 882,74 kPa, na primeira marcha, mobilizando 0,0820 m<sup>2</sup>. Os valores variaram entre 0,0820 a 0,0414 m<sup>2</sup>.

Tabela 7 – Área de solo mobilizado pelo conjunto microtrator-rotoencanteirador trabalhando sem lastros e com lastros, nas pressões de 110,32; 96,53 e 82,74 kPa (16, 14 e 12 psi) e nas marchas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>)

Pressão de Inflação (kPa)	Marchas	Área de solo mobilizada (m <sup>2</sup> )	
		Sem lastro	Com lastro
110,32	1 <sup>a</sup>	0,0568	0,0794
	2 <sup>a</sup>	0,0485	0,0584
	3 <sup>a</sup>	0,0354	0,0414
96,53	1 <sup>a</sup>	0,0820	0,0772
	2 <sup>a</sup>	0,0564	0,0612
	3 <sup>a</sup>	0,0414	0,0427
82,74	1 <sup>a</sup>	0,0813	0,0820
	2 <sup>a</sup>	0,0523	0,0587
	3 <sup>a</sup>	0,0399	0,0418

Silva (2012), testando um conjunto microtrator-arado de um disco, também em um Argissolo Vermelho Amarelo, encontrou que a área de elevação mostrou dados semelhantes na primeira e segunda marcha (0,09 m<sup>2</sup>) e foi um pouco inferior na terceira marcha (0,07 m<sup>2</sup>).

#### 4.9 Desempenho operacional

Na Tabela 8 estão os valores de capacidade operacional teórica (Cot), capacidade operacional efetiva (Coe) e eficiência (*f*) para o microtrator tracionando o conjunto

microtrator-rotocanteirador trabalhando sem lastros. O melhor valor de capacidade operacional teórica foi observado na terceira marcha a 82,74 kPa tendo valor de 0,1557 ha.h<sup>-1</sup>, assim como de capacidade efetiva, 0,1049 ha.h<sup>-1</sup>. A melhor eficiência foi de 75,83% encontrado na pressão de 96,53 kPa trabalhando na primeira marcha.

Na Tabela 8 os dados mostram que a melhor capacidade teórica foi apresentada na terceira marcha a 110,32 kPa, assim como a melhor capacidade efetiva de 0,1018 ha h<sup>-1</sup>. A maior eficiência foi de 74,56% com 82,74 kPa em primeira marcha. Dados para o microtrator trabalhando com lastros.

Tabela 8 – Valores de capacidade operacional efetiva e teórica (ha.h) e eficiência (%) função da marcha de trabalho, pressão de inflação com o microtrator trabalhando sem lastros e com lastro

Marcha	Pressão de Inflação (kPa)	Co (ha.h <sup>-1</sup> )		Ce (ha.h <sup>-1</sup> )		Eficiência (%)	
		Sem lastro	Com lastro	Sem lastro	Com lastro	Sem lastro	Com lastro
1 <sup>a</sup>	110,32	0,1065	0,1196	0,0800	0,0872	75,1155	72,8787
	96,53	0,1024	0,1172	0,0777	0,0859	75,8371	73,2875
	82,74	0,1057	0,1096	0,0795	0,0817	75,2563	74,5686
2 <sup>a</sup>	110,32	0,1318	0,1369	0,0935	0,0960	70,9182	70,1301
	96,53	0,1389	0,1307	0,0970	0,0929	69,8211	71,0983
	82,74	0,1397	0,1238	0,0974	0,0894	69,7101	721891
3 <sup>a</sup>	110,32	0,1487	0,1491	0,1017	0,1018	68,3687	68,3186
	96,53	0,1478	0,1431	0,1012	0,0990	68,5039	69,1901
	82,74	0,1557	0,1357	0,1049	0,0954	67,3736	70,3075

Araújo *et al.* (2012), ao avaliar o desempenho operacional de um conjunto microtrator-arado de disco encontrou a maior capacidade de trabalho teórica foi de 0,061 ha.h<sup>-1</sup> na segunda marcha já a maior capacidade de trabalho efetiva foi de 0,080 ha.h<sup>-1</sup> na terceira marcha. A melhor eficiência foi de 79,59% quando se trabalhou na primeira marcha.

## 5 CONCLUSÃO

Com os resultados e avaliações dos parâmetros estudados neste trabalho permitem concluir que:

Os maiores valores de velocidades foram encontrados com o microtrator trabalhando sem lastro na terceira marcha ( $0,4210 \text{ m.s}^{-1}$ ), nas diferentes pressões não houve diferença quando se trabalhou sem lastro. Com lastro a pressão de 110,32 kPa diferiu das demais.

A maior patinação foi encontrada na terceira marcha com o microtrator sem lastro (16%) e para as diferentes pressões foi também sem lastro na pressão de 82,74%.

O maior consumo horário foi registrado também na terceira marcha sem lastro ( $3,96 \text{ L.h}^{-1}$ ), para as pressões foi de 96,53 kPa sem lastro. Para o consumo específico o maior foi de  $3483,04 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , com o microtrator com lastro e  $3267,48 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$  na pressão de 82,74 kPa.

A força de tração na primeira marcha foi de 6,02 kN, na segunda 4,81 kN e na terceira foi de 3,2 kN, todas não variaram com a mudança de pressão, trabalhando sem lastro. Com lastro a força foi de 4,81kN, 3,2 kN e 2,00 kN na primeira, segunda e terceira marcha respectivamente.

A maior potencia foi na segunda marcha sem lastro(0,51 kW). Entre as pressões a maior foi de 0,48 kW na pressão de 82,74 kW.

A maior área de solo mobilizada foi de  $0,082 \text{ m}^2$  na primeira marcha com 96,53 kPa quando se trabalhou sem lastro. Com o lastro a maior área foi de  $0,82 \text{ m}^2$  na primeira marcha com 82,74 kPa.

A melhor eficiência do sistema foi na primeira marcha a 82,74 kPa com lastro, 74,56%.

## REFERÊNCIAS

**NR12 NORMA REGULAMENTADORA. NR 12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.** Segurança e Medicina do Trabalho. Lei 3.214 de 08 de junho de 1978.

Disponível em:

<<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D350AC6F801357BCD39D2456A/NR-12%20%28atualizada%202011%29%20II.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

ALLMARAS, R. R. *et al.* **Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage.** Washington: USDA, 1966. 22 p. (Conservation Research Report, 7).

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

ANFAVEA – Associação Nacional dos fabricantes de veículos Automotores. **Anuário 2011.** Disponível em:< <http://www.virapagina.com.br/anfavea2012/> > Acesso em: 26 dez. 2012.

ARAÚJO, K. L. B.; VILIOTTI, C. A.; SILVA, S. F. da; FERNANDES, F. R. B.; DUARTE, J. M. de L. Desempenho operacional e energético de um microtrator acoplado a um arado de disco. In: X CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2012. Londrina. **Anais...** Londrina: PR 2012. CD-ROM.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas.** São Paulo: Editora Manole, 1990, 307p.

BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; O’SULLIVAN, M. F. **Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth.** In: SMITH, K.A. & MULLINS, C.E, eds. *Soil environmental analysis: physical methods.* 2. ed. Marcel Decher, 2001. p.377-403.

BERNACKI, H.; HAMAN, J.; KANAFOJSKI, C. Z. **Agricultural Machines – Theory and Construction.** Vol I. Published for the U. S. Department of Agriculture and the National Science Foundation, Washington D. C., by the Scientific Publications Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland, 1972, 883p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, jul./set. 2006.

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

CAVICHIOLO, F. A. *et al.* Resistência mecânica do solo à penetração na fileira e entre fileira de cana-de-açúcar em função da mecanização. **Revista Engenharia na Agricultura** v. 20, n.1, 2012.

CLARKE, L. J. **Agricultural mechanization strategy formulation.** Rome: FAO, 1997.

CORDEIRO, M. A. L. **Estudo do efeito de lastragem no desempenho de um trator agrícola.** 1994. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

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

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

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de Vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 348-355, out./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/6927/5904>>. Acesso em: 19 Fev. 2012.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Revista engenharia na Agricultura** v.10, n.1-4, p.7, 2002. Disponível em:<<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol10/v10n1-4p01-07.pdf>>. Acesso em: 19 Fev. 2011.

DANIEL, L.A.; MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M. **IV Ciclo de estudos sobre Mecanização Agrícola.** Campinas: Fundação Cargill, 1990. p.22-38.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2. ed. Ver. E atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2011. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppgea/admin/dissertacoes/0512111458\\_18\\_03\\_2011\\_\\_Frantz.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgea/admin/dissertacoes/0512111458_18_03_2011__Frantz.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2012.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, jan./abr. 2006.

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

FURLANI, C.E.A.; CORTEZ, J.W.; TOLEDO, A. de; SILVA, R. P. da; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N. dos Tractor performance as a function of speed and seeder's tire inflation pressure. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.8, p.1726-1731, ago, 2010.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. P. 1-4.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F. ACOSTA, J. J. B.; JESUÍNO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p.333-339, 2010.

GABRIEL FILHO, A., SILVA, S. L., MODOLO, A. J., SILVEIRA, J.C. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. V. 24, n. 3, p.781-789, 2004.

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 1.,1990, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: Fundação Cargill,1990. p.12-21.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio & certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996, p.463-514.

GARCIA, R. F. **Patinagem de pneus**. Disponível em: <[http://www.garcia.xpg.com.br/aula06\\_patinagem.pdf](http://www.garcia.xpg.com.br/aula06_patinagem.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2009.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M.; FERNANDES, H. C.; PETERNELLI, L. A. Desempenho operacional de conjunto trator-recolhedora de feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005. CD-Rom.

HERZOG, R. L. S.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J. F.; TREIN, C. R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência mecânica do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB, v.10, n.2, p.523- 530, abr./jun, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

ICEPA. **Custo de produção**. Disponível em: <[http:// www.icepa.com.br](http://www.icepa.com.br) >. Acesso em: 12 nov. 2012.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2009. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo5/>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

JESUINO, P.R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Botucatu, 2007, p.64. (Dissertação de Mestrado).

KNOB, M. J. **Estudo de trafegabilidade aplicado a veículos de roda em transporte e tração**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. **Energia na Agricultura**, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico nº 1.

LILJEDAHN, J. B. P. K.; TURNQUIST, D. W.; SMITH. **Tractors and their Power units**, Fourth Edition, An AVI Book, 1989. 463p.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 375-379, 2003.

MARCHETTI, I. **Sistema automatizado para avaliação do consumo de biodiesel em tratores agrícolas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Marechal Cândido Rondon, 2006. Disponível em: <[http://tede.unioeste.br/tede/tde\\_arquivos/1/TDE-2006-12-11T104855Z-60/Publico/Paulo%20Roberto%20Dulnik.pdf](http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/1/TDE-2006-12-11T104855Z-60/Publico/Paulo%20Roberto%20Dulnik.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2012.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor'90**. Madrid : Laboreo, 1990. 198p. (Apuntes didácticos).

MASIERO, F. C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA)**, p. 79, 2010. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu. Disponível em: <[http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bla/33004064021P7/2010/masiero\\_fc\\_me\\_botfca.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bla/33004064021P7/2010/masiero_fc_me_botfca.pdf)>. Acesso em: 19 nov 2012.

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

MATTAR, D. M. P. **Influência do deslizamento da roda motora de uma semeadora/adubadora de plantio direto no espaçamento longitudinal de sementes de milho**. 2010. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

MAZETTO, F. R. **Avaliação dos desempenhos operacional e energético e da ergonomia de colhedoras de soja (*Glycine max (L.) Merril*) no sistema de plantio direto**. 2008. 104 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

MELLO, R. C.; MAGALHÃES, P. S. G. **Avaliação do desempenho de um arado de discos**. 91 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1993.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. v.2. São Paulo: EDUSP/USP, 1980. 367 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas – Ensaio e Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário. **Terra da gente**, n. 6, Julho, 2009.

Disponível

em:<<http://www.sistemas.mda.gov.br/portal/index/download/index/codAnexo/22081>> Acesso em: 25 mar. 2011.

MORAIS, C. S. *et al.* **Avaliação do nível de ruído de um trator de rabiça utilizando dosímetro**. XVIII Congresso de Iniciação Científica, o XI Encontro de Pós-graduação e I mostra científica – Universidade Federal de Pelotas. 2009. Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br/cic/2009/index.php>>. Acesso em: 22 maio 2012.

MONTANA, G.K., **Avaliação do consumo energético no preparo de solo para a cultura do algodão irrigado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP – Campus de Botucatu, 2010.

MONTEIRO, L. de A.; SILVA, P. R. A. **Operação com tratores agrícolas**. Botucatu. 2009. 76 p.

MONTEIRO, L. de A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP – Campus de Botucatu, 2008.

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**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.768-773, set./dez. 2005.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas. Ensaio e Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na

operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

NASCIMENTO, E. M. S **Avaliação da eficiência energética e do nível de ruído de um microtrator de duas rodas**. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará-UFC.

NAGASAKI, Y.; NONAKA, M.; KAWASHIMA, H. Development of electric motor-driven monorail systems for agrochemical application in sloping greenhouses. St. Joseph: **ASAE**, 1999. 9p. Paper No. 994169.

NAGAOKA, A. K., NOMURA, R. H. C., BRÖRING, N., KITANO, N., JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

NORONHA, E. H.; TRAVAGLIA FILHO, U. J.; GARAVELLI, S. L. Quantificação dos níveis de ruídos num estande de tiros da PM do Distrito Federal. **Humanitates**, Brasília, DF, v. 1, n. 3, 2005. Disponível em:<<http://www.humanitates.ucb.br/3/ruído.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

PINTO, O. R. O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RIBEIRO, A. I.; MACIEL, A. J. S. **Estudo do comportamento energético apresentado por três formas geométricas de lâminas de enxada rotativa**. 77 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1997.

RIPOLI, T. C.C. et al. **Manual prático do agricultor**. Piracicaba. USP/ESALQ, 2005. 192p.

RODRIGUES, D. E.; et al.. Desempenho de um micro trator utilizando-se motores com diferentes alternativas energéticas. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 55-63, Jan./June, 2006.

RUAS, R. A. A.; MACHADO, L. G.; CAIXETA, L. F.; DEZORDI, L. R.; RUAS, S. R. C. Determinação do raio de afastamento seguro de acordo com a pressão sonora produzida por um micro-trator. **Global science and technology**, Rio Verde, v. 04, n. 01, p.124 – 130, 2011.

RUSSINI, A.; **Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para Avaliação do desempenho de tratores Agrícolas**. Santa Maria, RS, Brasil; 2009.

SALIBA, T. M. **Manual de avaliação e controle do ruído**. 4. ed. São Paulo: LTr. 2008. 136 p.

SANTOS, A. P. **Análise técnica de semeadoras adubadoras para plantio direto de milho**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Concentração em Máquinas e Automação Agrícola) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2006.

SCHLOSSER, J. F. et al. Desenvolvimento de metodologia para previsão do fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos de um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p.985-989, nov./dez.2001.

SCHLOSSER, J. F., Tratores agrícolas. **Máquinas**. Edição especial. p. 3-10. 2001.

SCHLOSSER, J. F., LINARES, P.; MARQUEZ, L. Influence of the kinematics advance on the traction efficiency of the front wheel assist tractor. **Ciência Rural**, vol.34, nº.6, p.1801-1805, 2004.

SILVA, F. S. **Avaliação do ruído e do desempenho energético de um trator de rabiças com um arado de disco acoplado**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará–UFC.

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

SILVA, L. F. **Estudo sobre a exposição combinada entre ruído e vibração de corpo inteiro e os efeitos na audição dos trabalhadores**. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 182 p. Tese Doutorado em Saúde Ambiental.

SILVEIRA, G. M. da., **Os cuidados com o trator**. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1987. 245 p.

SILVEIRA, G. M. da.; SIERRA, J. G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 418–424, 2010.

SILVEIRA, G. M. DA; *et al.* Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p.305-310, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052005000200018&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052005000200018&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 06 Abr. 2012.

SORANSO A. M. **Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado étílico e metílico**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Paraná –UNIOESTE, Cascavel. Disponível em: <[http://tede.unioeste.br/tede/tde\\_arquivos/1/TDE-2006-12-08T152432Z-51/Publico/Ana%20Marta%20Soranso.pdf](http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/1/TDE-2006-12-08T152432Z-51/Publico/Ana%20Marta%20Soranso.pdf)> Acesso em: 10 maio, 2013.

SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M.S.; URIBEPAZO, M.A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F.; NÓBREGA, L.H.P. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo Roxo Distrófico da região de Cascavel – PR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal- SP, v.18, n.3, p.80-92, mar. 1999. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662004000200008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662004000200008) > Acesso em: 10 maio, 2013.

SOUZA, L. H. de, FERNANDES, H. C., VITÓRIA, E. L. da. Avaliação do nível de ruído causado por diferentes conjuntos mecanizados. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. v. 28. n. 105/106. p. 21-30. 2004. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/1190/119021236021.pdf>> Acesso em: 10 maio, 2013.

TOMPKINS, F. D.; HART, W. E.; FREELAND, R. S.; WILKERSON, J. B.; WILHELM, L. R. Comparison of tractor ground speed measurement techniques. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.2, p.369-74, 1988.

TORRES, E., SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, EMBRAPA CNPSo, 1999. 58p. (EMBRAPA CNPSo. Circular Técnica, 23).

TRINTIN, C. G. *et al.* Demanda energética solicitada por uma semeadora adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 127-131, jan/ mar. 2005.

YANAI, K.; SILVEIRA, G.M.; LANÇAS, K.P.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100204X1999000800015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X1999000800015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 10 maio, 2013. doi: 10.1590/S0100204X1999000800015.