

**TOMÁS PELLEGRINI BAIO**

**ESFORÇO TRATÓREO E MOBILIZAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO  
DIFERENTES TIPOS  
DE HASTE SULCADORA EM SEMEADORAS DE PRECISÃO**

**Botucatu**

**2024**



**TOMÁS PELLEGRINI BAIO**

**ESFORÇO TRATÓREO E MOBILIZAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO  
DIFERENTES TIPOS  
DE HASTE SULCADORA EM SEMEADORAS DE PRECISÃO**

Tese apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador(a): Paulo Roberto Arbex Silva

**Botucatu**

**2024**

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B162e | <p>Baio, Tomás Pellegrini</p> <p>Esforço tratorio e mobilização do solo utilizando diferentes tipos de haste sulcadora em semeadoras de precisão / Tomás Pellegrini Baio. -- Botucatu, 2024</p> <p>72 p. : <u>il.</u>, tabs., fotos, mapas</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Paulo Roberto Arbex Silva</p> <p>1. Mecanização agrícola. 2. <u>Semeadeira-adubadeira</u>. 3. <u>Plantadeira</u> (Máquinas agrícolas). I. Título.</p> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

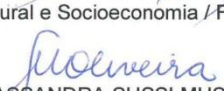
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESFORÇO TRATÓREO E MOBILIZAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO  
DIFERENTES TIPOS DE HASTE SULCADORA EM SEMEADORAS DE  
PRECISÃO

AUTOR: TOMÁS PELLEGRINI BAIO

ORIENTADOR: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola, pela  
Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Presencial)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP  
Doutora SAMANTHA VIEIRA DE ALMEIDA (Participação Virtual)  
Prof. Dr. ARTHUR GABRIEL CALDAS LOPES (Participação Virtual)  
/ Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Presencial)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP  
Profa. Dra. KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA (Participação Presencial)  
Depto. Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu - Unesp

Botucatu, 18 de dezembro de 2024



*Dedico esta obra a todos que fazem parte de minha vida assim  
como à família que nos momentos mais escuros da vida me  
acenderam uma luz.*



## RESUMO

A utilização de haste sulcadora em semeadoras de precisão é necessária na maioria dos solos brasileiros devido ao efeito de descompactação do solo, que faz aumentar a produtividade das culturas. Esse trabalho teve como objetivo avaliar parâmetros de qualidade operacional do uso de haste sulcadora em semeadoras adubadoras, visando diminuir a mobilização do solo, e mantendo a profundidade efetiva do componente e através do fator econômico de gasto energético, ou seja, a capacidade da haste exigir uma força de tração menor proveniente do trator, o que caracteriza menor consumo de combustível que impacta diretamente nos custos operacionais. O trabalho foi realizado em área experimental da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu - SP, sendo assim a área do teste em esquema fatorial (5x3) em DIC com parcelas subdivididas, combinando-se cinco velocidades de deslocamento (4; 6; 8; 10 e 12 Km.h<sup>-1</sup>) e três tipos de haste. Foram avaliados a resistência mecânica a penetração do solo, área de revolvimento do solo, profundidade de trabalho das hastes, força média e máxima para força na barra de tração, área de solo mobilizado, força horizontal específica e potência na barra tração. Através dos dados obtidos pelo ensaio proposto, é possível concluir que para o fator de descompactação, ou seja, a resistência do solo a penetração mecânica o melhor modelo para este quesito foi o H3 em velocidade de 10 km h<sup>-1</sup>. Para todos os outros fatores analisados, como força média e máxima na barra de tração, força por área de solo revolvido, força média e máxima horizontal específica e potência média e máxima o modelo de haste que teve seu melhor desempenho foi a H1 na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup>.

**Palavra-chave:** plantabilidade; velocidade, descompactação.



## ABSTRACT

The use of furrowing rods in precision seeders is necessary in most Brazilian soils because of soil decompaction, which increases crop productivity. The objective of this study was to evaluate operational quality parameters of the use of furrowing rods in fertilizer seeders, aiming to reduce soil mobilization, and maintaining the effective depth of the component and through the economic factor of energy expenditure, that is, the capacity of the rod to require a lower traction force from the tractor, which characterizes lower fuel consumption that directly impacts operating costs. The work was carried out in an experimental area of the Faculty of Agronomic Sciences of Unesp, Botucatu - SP, thus being the test area in a factorial scheme (5x3) in DIC with split plots, combining five displacement speeds (4, 6, 8, 10 and 12 Km.h<sup>-1</sup>) and three types of stems. The mechanical resistance to soil penetration, soil disturbance area, working depth of the rods, average and maximum force for force on the drawbar, area of mobilized soil, specific horizontal force and power on the drawbar were evaluated. Through the data obtained by the proposed test, it is possible to conclude that for the decompaction factor, that is, the resistance of the soil to mechanical penetration, the best model for this item was H3 at a speed of 10 km<sup>h-1</sup>. For all the other factors analyzed, such as average and maximum force on the drawbar, force per area of ground turned, average and maximum horizontal specific force and average and maximum power, the rod model that had its best performance was the H1 at the speed of 4 km<sup>h-1</sup>.

**Keywords:** plantability; speed; decompaction.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Mecanismo sulcador do tipo disco duplo (A) e haste sulcadora (B).....                   | 22 |
| Figura 2 - Área da Fazenda experimental Lageado, Unesp FCA - Botucatu/SP .....                     | 27 |
| Figura 3 - Trator John Deere 6600 utilizado no ensaio .....                                        | 28 |
| Figura 4 - Estrutura equipada no braço hidráulico do trator .....                                  | 29 |
| Figura 5 - Estrutura equipada com célula de carga.....                                             | 29 |
| Figura 6 - Painel para aquisição dos dados .....                                                   | 30 |
| Figura 7 - Avaliação da profundidade de trabalho da haste sulcadora.....                           | 31 |
| Figura 8 - Avaliação da profundidade de trabalho efetiva .....                                     | 31 |
| Figura 9 - Perfilometro (Mahl, 2002) utilizado para análise do solo.....                           | 32 |
| Figura 10 - Modelos de hastes utilizadas no ensaio.....                                            | 33 |
| Figura 11 - Equipamento para análise da resistência a penetração do solo .....                     | 35 |
| Figura 12 - Pontos de coleta de resistência a penetração em área total.....                        | 36 |
| Figura 13 - Exemplo da coleta de 5 pontos por tratamento após passagem da haste<br>sulcadora ..... | 36 |
| Figura 14 - Equipamento para análise da umidade do solo .....                                      | 37 |
| Figura 15 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H1 .....                    | 48 |
| Figura 16 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H2 .....                    | 48 |
| Figura 17 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H3 .....                    | 48 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Análise granulométrica (g kg <sup>-1</sup> ) do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA) .....                                                 | 27 |
| Tabela 2 - Classificação dos tratamentos .....                                                                                                               | 33 |
| Tabela 3 - Croqui do ensaio em faixas .....                                                                                                                  | 34 |
| Tabela 4 - Análise da resistência a penetração da área total .....                                                                                           | 40 |
| Tabela 5 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 0 e 4 cm .....                                                              | 41 |
| Tabela 6 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 4 e 8 cm .....                                                              | 42 |
| Tabela 7 - Análise Tukey das médias em função velocidade (km h <sup>-1</sup> ) - resistência a penetração (kPa) entre 4 e 8 cm .....                         | 42 |
| Tabela 8 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm .....                                                             | 43 |
| Tabela 9 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste - resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm .....                                      | 43 |
| Tabela 10 - Análise Tukey das médias em função da velocidade (km h <sup>-1</sup> ) - resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm .....                    | 44 |
| Tabela 11 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm .....                                                           | 45 |
| Tabela 12 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste e velocidade (km h <sup>-1</sup> ) - resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm ..... | 45 |
| Tabela 13 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste e velocidade (km h <sup>-1</sup> ) - resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm ..... | 45 |
| Tabela 14 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 16 e 20 cm .....                                                           | 46 |
| Tabela 15 - Desdobramento da análise de variância - Resistência a penetração (kPa) entre 16 e 20 cm .....                                                    | 47 |
| Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a área de revolvimento do solo (m <sup>-2</sup> ) .....                                                      | 49 |
| Tabela 17 - Análise das médias em função do modelo de haste - área de revolvimento do solo (m <sup>2</sup> ) .....                                           | 49 |
| Tabela 18 - Resumo da análise de variância - Profundidade (cm) .....                                                                                         | 50 |
| Tabela 19 - Desdobramento da análise de variância da profundidade (cm) .....                                                                                 | 51 |

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 20 - Resumo da análise de variância para força média na barra (N).....                                                                           | 52 |
| Tabela 21 - Desdobramento da análise de variância - força média na barra (N).....                                                                       | 52 |
| Tabela 22 - Resumo da análise de variância para força máxima na barra de tração<br>(N).....                                                             | 53 |
| Tabela 23 - Análise das médias em função do modelo de haste - força máxima na<br>barra de tração (N) .....                                              | 54 |
| Tabela 24 - Resumo da Análise de variância para força média por área de solo<br>mobilizado ( $\text{N m}^{-2}$ ).....                                   | 55 |
| Tabela 25 - Desdobramento da análise de variância para força média por área de<br>solo revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ ).....                             | 55 |
| Tabela 26 - Resumo da análise de variância para força máxima por área de solo<br>revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ ) .....                                  | 56 |
| Tabela 27 - Desdobramento da análise de variância - força máxima por área de solo<br>revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ ) .....                              | 56 |
| Tabela 28 - Resumo da análise de variância para força média horizontal específica<br>( $\text{N cm}^{-1}$ ).....                                        | 57 |
| Tabela 29 - Desdobramento da análise de variância - força média horizontal<br>específica ( $\text{N cm}^{-1}$ ).....                                    | 58 |
| Tabela 30 - Resumo da análise de variância para força máxima horizontal específica<br>( $\text{N cm}^{-1}$ ).....                                       | 59 |
| Tabela 31 - Análise Tukey das médias em função do modelo de - força máxima<br>horizontal específica ( $\text{N cm}^{-1}$ ) .....                        | 59 |
| Tabela 32 - Análise Tukey das médias em função da velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) - força<br>máxima horizontal específica ( $\text{N cm}^{-1}$ )..... | 59 |
| Tabela 33 - Resumo da análise de variância para potência média na barra de tração<br>(W).....                                                           | 60 |
| Tabela 34 - Desdobramento da análise de variância - potência média na barra de<br>tração (W) .....                                                      | 61 |
| Tabela 35 - Resumo da análise de variância para potência máxima na barra de<br>tração (W) .....                                                         | 62 |
| Tabela 36 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste - potência<br>máxima na barra de tração (kW) .....                                    | 62 |
| Tabela 37 - Análise Tukey das médias em função da velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) - potência<br>máxima na barra de tração (kW) .....                  | 62 |

## SUMÁRIO

|             |                                                                    |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>    | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                             | <b>17</b> |
| <b>2</b>    | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                  | <b>18</b> |
| <b>2.1</b>  | <b>Sistema de plantio Direto (SPD).....</b>                        | <b>18</b> |
| <b>2.2</b>  | <b>Semeadora de Precisão.....</b>                                  | <b>19</b> |
| <b>2.3</b>  | <b>Velocidade de deslocamento.....</b>                             | <b>21</b> |
| <b>2.4</b>  | <b>Mecanismo de abertura de sulco.....</b>                         | <b>22</b> |
| <b>2.5</b>  | <b>Resistência do solo à penetração.....</b>                       | <b>24</b> |
| <b>2.6</b>  | <b>Demanda energética.....</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>3</b>    | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Campo Experimental.....</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Unidade de ensaio para dispositivos de preparo de solo.....</b> | <b>27</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Determinação da profundidade.....</b>                           | <b>30</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Perfilometro.....</b>                                           | <b>32</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>Delineamento experimental.....</b>                              | <b>32</b> |
| <b>3.6</b>  | <b>Descrição dos tratamentos.....</b>                              | <b>33</b> |
| <b>3.7</b>  | <b>Instalação e condução do experimento.....</b>                   | <b>34</b> |
| <b>3.8</b>  | <b>Resistência do solo à penetração.....</b>                       | <b>35</b> |
| <b>3.9</b>  | <b>Teor de água no solo.....</b>                                   | <b>36</b> |
| <b>3.10</b> | <b>Força média na barra de tração.....</b>                         | <b>37</b> |
| <b>3.11</b> | <b>Força máxima na barra de tração.....</b>                        | <b>37</b> |
| <b>3.12</b> | <b>Força horizontal por área de solo mobilizado.....</b>           | <b>38</b> |
| <b>3.13</b> | <b>Força máxima horizontal por área de solo mobilizado.....</b>    | <b>38</b> |
| <b>3.14</b> | <b>Força horizontal específica.....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>3.15</b> | <b>Força máxima horizontal específica.....</b>                     | <b>38</b> |
| <b>3.16</b> | <b>Potência na barra de tração.....</b>                            | <b>39</b> |
| <b>3.17</b> | <b>Potência máxima na barra de tração.....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>3.18</b> | <b>Condições climáticas.....</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>4</b>    | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                 | <b>40</b> |
| <b>5</b>    | <b>CONCLUSÕES.....</b>                                             | <b>64</b> |
|             | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                            | <b>65</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

Os produtores brasileiros enfrentaram um ano agrícola muito severo com regime de chuva irregulares e forte estiagem nas áreas agrícolas do país na safra 2023/2024. Devido à grande significância do país no mercado agrícola, principalmente falando de soja com uma produção de 147,35 milhões de toneladas, uma redução de 4,7% à safra anterior (CONAB, 2023), o uso de semeadoras com haste sulcadora pode ajudar a segurar essa queda de produtividade.

Há anos atrás, a agricultura utilizava muito do manejo convencional do solo, onde toda a palhada era incorporada e se tinha o solo exposto sem nenhum tipo de barreira contra a evaporação da água, com o avanço das pesquisa caminhando para o cultivo de plantio direto na agricultura, aonde a incorporação da palha ao solo deixa de existir, é importante entender que isso trouxe diversos benefícios para a agricultura como por exemplo, diminuição da temperatura do solo e aumento da disponibilidade de água para as plantas.

Contudo há novos desafios, dentre muitos os de maior importância é cortar a palha para que a semente seja depositada em profundidade adequada e o outro ponto importante nesse manejo é a descompactação do sulco de semeadura, que antes feita por implementos de manejo de solo neste sistema não se usa mais, por isso o uso de haste sulcadora na semeadora para a planta conseguir se desenvolver sem impedimentos físicos do solo.

Importante entender que ao descompactar o sulco de semeadura, a semente tenha a emergência sem impedimento físico e melhore a absorção de água e nutrientes. O uso da haste sulcadora na semeadora pode proporcionar que a planta tenha maior resistência nas condições de clima seco. A descompactação do solo no sulco de semeadura faz com que a raiz da planta possa explorar profundidades maiores e assim aumentar a possibilidade de encontrar água.

No mercado de máquinas para semear é possível encontrar diversos modelos de haste sulcadora, diante desse fato esta tese teve como objetivo avaliar diferentes hastes sulcadoras em diferentes velocidades de deslocamento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema de plantio direto (SPD)

O sistema plantio direto (SPD) de método conservacionista de manejo do solo, envolve sobre a rotação de culturas, mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura (Cassol *et al.*, 2007).

O Sistema Plantio Direto (SPD) ao contrário do sistema convencional de preparo do solo, ele é .ao contrário do sistema convencional de preparo do solo, ele é caracterizado pelo não revolvimento do solo e pela alta quantidade de palha no solo, a qual traz diversos benefícios para a agricultura. (Cruz, 2009).

Trata-se de uma técnica revolucionária para a agricultura brasileira que resulta em aumento produtivo da lavoura e na preservação solo (Salton *et al.*, 1998), pela redução da erosão, reciclagem de nutrientes, atividade biológica e manejo de resíduos culturais (Ceretta *et al.*, 2002; Franchini *et al.*, 2003).

O cultivo convencional na agricultura o qual é caracterizado pelo alto revolvimento do solo, assim este tipo de cultivo incorpora toda a matéria orgânica presente e é caracterizado pela alta dessegregação das partículas do solo. (Derpsch, *et al.*, 1991).

No Brasil, o Sistema Plantio Direto, teve início no Paraná com o intuito de reduzida a perda de solo por erosão, que tem como o principal fator causador a chuva. (Freitas; Landers, 2014).

Com a sistematização do plantio direto o uso de herbicidas para realizar o controle de plantas daninhas e criar a palha seca no campo se tornou cada vez maior na agricultura. (Silva, 2007).

Em decorrência, o terraceamento passou a ser considerado desnecessário e indiscriminadamente desfeito, levando ao abandono da semeadura em contorno e à adoção da semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do sentido do declive (Denardin *et al.*, 2008).

Apenas recentemente estudos sobre o efeito da direção da semeadura no SPD estão sendo realizados, como o de Cogo *et al.* (2007) que mostram reduções de 74 e 26% nas perdas de solo e de água a favor da semeadura em contorno.

O SPD trás para a agricultura os benefícios de diminuir a temperatura do solo, aumento da umidade, proliferação de organismo biológicos do solo benéficos a planta e diminuição da erosão causada pela chuva. (Aratani, *et al.*, 2009).

Segundo CTIC (2010), o preparo conservacionista do solo que não mobiliza mais de 67% dos restos residuais e segundo Silveira *et al.*, (2001) afirma que no máximo 25 a 30% da superfície do solo.

Este sistema recupera a capacidade produtiva e realiza a manutenção de solos manejados convencionalmente e áreas degradadas (Torres, *et al.*, 2008).

Para que todos os benefícios do sistema de plantio direto sejam alcançados é necessário que se instale cultivos que tenha a característica de deixar restos culturais no solo ou até mesmo os cultivos de planta de cobertura ou de inverno. (Calegari, *et al.*, 2008).

Segundo CONAB (2023), a área de SPD no Brasil já passa da marca dos 78,1 milhões de hectares.

O sistema plantio direto em conjunto com tecnologia na agricultura fez uma revolução no setor, com a prática de não incorporar os resíduos da cultura anterior. (Portella, 1993).

A descompactação do solo através de implementos agrícolas deve ser utilizada quando a resistência do solo estiver mais elevada do que 2,0 mPa segundo Taylor (1966).

## **2.2 Semeadora de precisão**

Segundo Henning *et al.* (2021), o manejo do solo é uma das etapas mais importantes que antecede a semeadura. Quando realizado corretamente, auxilia na redução da erosão e consequentemente as perdas de solo e nutrientes, melhora a biodiversidade, diminuindo a incidência de pragas e doenças, e preservando a matéria orgânica do solo. Estes fatores auxiliam na estabilidade das características físicas do solo, a estrutura, compactação, porosidade e retenção a água. Estes aspectos determinam o melhor assentamento da semente em semeadura e o aprofundamento do sistema radicular da planta em desenvolvimento.

A operação de semeadura é um momento muito delicado para o produtor, pois a partir dela que se inicia a capacidade produtiva da planta. Atualmente se tem equipamentos conhecidos por semeadoras a vácuo, a qual, por um sistema pressurizado, consegue alcançar um coeficiente de variação em sua distribuição mais precisa, aumentando assim a quantidade de espaçamentos aceitáveis entre si. (Casagrande, *et al.*, 2021).

Brown *et al.*, (1996) e Silva (2002) relataram que no processo de semeadura de culturas anuais, o condicionamento físico do solo ao redor das sementes reveste-se de grande importância para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas.

Phillips & Kirham (1962) afirmaram que as condições do solo após a semeadura realizar a sua operação pode trazer prejuízos para as plantas em estádios posteriores de crescimento.

Dentre os fatores que condicionam o meio ambiente do solo, a umidade, a temperatura e a aeração são primordiais para a germinação (Nabi *et al.*, 2000). Semeadoras-adubadoras são máquinas que ao mesmo tempo em que se aduba o solo também realiza a semeadura, esse equipamento pode ser classificado como semeadora de precisão para grãos graúdos ou de fluxo contínuo para cultura de grãos finos. (Mialhe, 1980).

A semeadura, na qual se busca a adequada distribuição longitudinal das sementes no solo, correta profundidade e uniformidade nas distancias entre sementes (DOS Santos, *et al.*, 2019). Essa etapa exige maior cuidado em sua execução, pois pode comprometer a produtividade (Ros *et al.*, 2011).

Os equipamentos de semeadura direta têm como obstáculo a palha da cultura anterior, por isso são equipadas com o disco de corte, depois dessa operação a semeadora irá depositar o fertilizante, semente e finalizando com o fechamento do sulco aberto. (Machado, *et al.*, 1996).

Aspectos como qualidade dos insumos, tempo de dessecação das plantas de cobertura, profundidade do fertilizante e semente, assim como o tipo de sulcador utilizado irá influenciar na eficiência da operação. (Marques, 2004).

Independentemente da máquina semeadora utilizada, é necessário manter a qualidade na operação de plantio para que se possa ter uma melhor uniformidade das plantas. (Navid, *et al.*, 2011).

Utilizando de maneira correta e ajustada o conjunto no momento do plantio, irá se ter uma maior capacidade operacional favorecendo o número de área executada no mesmo período e na janela especificada. (Mattar, 2010).

## 2.3 Velocidade de deslocamento

Estudos realizados ao longo dos anos sobre a qualidade da operação de semeadura indicam que a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora é um dos fatores que influenciam o processo. (Souza, *et al.*, 2019).

Na semeadura existem diversos pontos a serem observados para garantir uma qualidade da operação, mas a velocidade é o ponto mais importante. (Kurachi, *et al.*, 1989).

Uma semeadora de precisão pode chegar a ter 9 funções acontecendo ao mesmo tempo, e quanto mais rápido essa operação for em relação a velocidade mais difícil vai ser de se alcançar a qualidade desejada. (Marcolan, *et al.*, 2007).

Casão Júnior *et al.* (2000), analisando a semeadura de soja em uma semeadora-adubadora mecânica com discos horizontais, de 4,5 e 8,0 km h<sup>-1</sup>, os resultados apontaram decréscimo na deposição sementes na velocidade de deslocamento de 8,0 km h<sup>-1</sup>.

Reis *et al.* (2007), em sua avaliação sobre velocidades de semeadura em soja de 3,8 a 9,5 km h<sup>-1</sup>, encontrou resultados que a velocidade de 7,7 km h<sup>-1</sup> apresentou déficit na qualidade da semeadura.

Na semeadora-adubadora com o sistema pneumático, Cortez *et al.* (2006) o aumento da velocidade na operação mesmo com o sistema mais novo de dosagem de semente, observou a redução da plantabilidade da cultura.

Dias *et al.* (2009) observou que mesmo com o aumento de velocidade em uma semeadora-adubadora mecânica, que apesar do decréscimo da qualidade o estande de plantas ainda se manteve satisfatório.

Entretanto, Portella (1999) afirma que, no sistema pneumático, pode-se obter uma boa plantabilidade até a velocidade de 10 km h<sup>-1</sup>.

Reis & Alonço (2001), em sua pesquisa com diversas máquinas utilizadas no Brasil, concluíram que, velocidades de semeadura acima de 7,5 km h<sup>-1</sup>, toda semeadora-adubadora apresentou problemas na distribuição de sementes.

No sistema de disco alveolado horizontal, a velocidade de semeadura da soja até 7,3 km h<sup>-1</sup> não houve nenhum problema em relação a emergência das plantas em campo, garantindo a não competição por luminosidade em plantas de diferentes tamanhos. (Branquinho *et al.*, 2004).

A garantia de que toda semente vai estar em seu espaçamento ideal de acordo com a população se deu na velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , enquanto o seu aumento contribuiu para a queda da qualidade de semeadura. (Dambrós, 1998).

O incremento da velocidade na operação de semeadura de 3 para  $5 \text{ km h}^{-1}$  fez com que a produção final da área fosse reduzida assim como a população de plantas. (Furlani, *et al.*, 1999).

Delafosse (1986) relata que a velocidade na operação de semeadura é um dos parâmetros que mais influência no desempenho de semeadoras, sendo a distribuição longitudinal de sementes no sulco de semeadura alterada, afetando a produtividade da cultura.

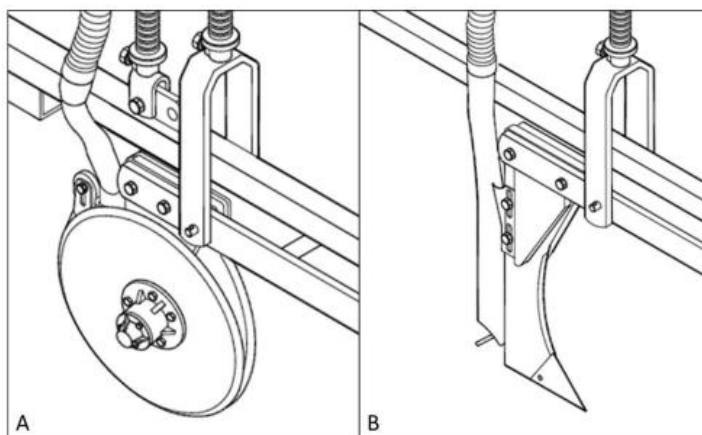
## 2.4 Mecanismo de abertura de sulco

Os mecanismos sulcadores de fertilizantes podem ser o disco duplo e as hastes sulcadoras, que possuem diversos formatos e tamanhos (Aikins, 2020).

Com a introdução do plantio direto no país, é possível encontrar estruturas similar a Figura 1A, que retrata o disco duplo e a haste sulcadora Figura 1B (Francetto, *et al.*, 2016).

A melhor haste é aquela que consegue penetrar com facilidade no solo mais endurecido superficialmente, típico do sistema plantio direto, exigindo baixa força de tração e movimentando pouco solo no sulco (Araújo *et al.*, 2001).

**Figura 1 - Mecanismo sulcador do tipo disco duplo (A) e haste sulcadora (B)**



**Fonte:** Francetto, *et al.*, (2016, p. 17).

A boa capacidade de rolar sobre o solo, os discos duplos têm uma característica de não ter o fenômeno de embuchamento com a palhada (Lambrechet, 2017).

O uso do disco duplo pode auxiliar no corte de resto de cultura no campo, mas ao mesmo tempo em solos que estão com uma resistência a penetração o uso desse sistema para depositar o fertilizante no solo pode sofrer com a variação de profundidade dele, isso ocorre devido ao ângulo que ele forma em relação ao solo e diminui sua capacidade de penetração. (Silva, *et al.*, 2015)

Apesar do maior uso de potência do trator, a utilização da haste sulcadora em maiores profundidades trás o benefício de redução da resistência do solo e possibilita as raízes das plantas crescerem mais profundas (Nunes, 2014).

As funções dos mecanismos de promover realizar a dosagem do fertilizante e semente na profundidade correta, a fim de proporcionar boas condições a germinação, proporcionando situações favoráveis para germinação, emergência e crescimento da planta. (Lambreth, 2017).

Para se obter o sucesso no estabelecimento inicial das plântulas é necessário a dependência do microclima em volta da semente, promovido pela abertura leito de semeadura, e esses fatores podem ser alterados com o uso destes diferentes mecanismos através da abertura de sulcos (Souza, *et al.*, 2019).

As características físicas e químicas do solo ditam muito qual é a melhor escolha para aquele determinado momento, pois a escolha de uma operação que demanda muita força pode acabar acarretando uma diminuição da capacidade operacional do conjunto trator e implemento. (Santos, *et al.*, 2021).

Na operação de semeadura a única forma de se realizar a descompactação no sulco é com a utilização da haste sulcadora, e assim garantir que a planta não tenha impedimentos para o seu crescimento. (Bordignon, 2005).

O perfilômetro é usado para verificar a quantidade de área mobilizada após o uso de algum equipamento agrícola que trabalhe abaixo do solo, como por exemplo o subsolador, semeadora entre outros. (Gamero, 1990).

A área de mobilização do sulco é a quantidade de solo entre o perfil do solo original e o fundo do sulco, já o empolamento é a quantidade de solo entre o perfil original e após passar o implemento que penetra no solo. (Lanças, *et al.*, 1987).

O uso de haste sulcadora em áreas propícias em ser compactadas deve ser considerada pelos agricultores, pois além da função de depositar o fertilizante em profundidade, ela tem a capacidade de realizar uma maior mobilização do solo e assim

aumentar a eficiência da descompactação da área. Entretanto a profundidade dessa operação ainda é alvo de estudo entre os pesquisadores e produtores pois ela afeta a qualidade de semeadura. (Unger & Kaspar; 1994; Tormena, 1998; Abreu, 2004; Genro Júnior, 2000).

Em estudo realizado e observado os resultados em Latossolo Vermelho Distrófico o uso de haste sulcadora foi o elemento que mais conseguiu realizar a descompactação e mobilização do solo no sulco de semeadura e que promoveu um incremento na produtividade do milho de até 11,3% (Mello, 2002).

Ao analisar a profundidade do uso da haste Sulcadora no momento da semeadura, foi possível observar que na medida em que se aumentava a profundidade de trabalho a área de mobilização do solo também aumentou, chegando em uma significativa diferença de até 78% (Mion, *et al.*, 2002).

## **2.5 Resistência do solo à penetração**

Com o aumento de máquinas pesadas no campo, o assunto da compactação vem sendo discutida mundialmente, pois seus prejuízos são consideráveis na lavoura. (Ralisch, 2002).

A falta de água, demora na emergência, amarelamento por falta de nutrientes são fenômenos que são encontrados em solos compactados. (Mantovani, 1987).

A perda de produtividade, altura de planta e comprimento radicular são fenômenos observados em solos com alta resistência a penetração. (Suzuki, 2005).

O aumento do sistema plantio direto fez com que anualmente com o trânsito das máquinas a compactação aumentasse na camada superficial do solo. (Tormena, 1988).

Os efeitos da compactação são visíveis ao profissional capacitado ao analisar uma lavoura, como o porte de planta e até mesmo a coloração dela caracterizam sintomas de solo com alta densidade. (Goedert, 2002).

O estudo da capacidade de compactação de cada tipo de solo se torna importante devido à alta variabilidade do solo (Bertollo, *et al.*, 2013).

Ter o histórico da área é devidamente crucial para que se possa obter o máximo de rendimento das plantas, pois o acompanhamento tornar mais eficiente o momento correto para intervir caso o solo estava tendendo ao aumento da densidade. (Beutler, *et al.*, 2002).

O método mais conhecido para se mensurar o nível de compactação do solo é através do uso do penetrômetro em diferentes profundidades. (Silva, 2004).

A resistência do solo a penetração, também conhecida como compactação é diferente entre solos arenosos, que tem uma menor resistência em relação a solos argilosos que tem uma resistência maior. (Rosolem, 1999).

A velocidade de deslocamento assim como o modelo de haste sulcadora a ser utilizada no momento do plantio, são pontos importantes pois requerem maior ou menor potência do trator a ser utilizado. (Araujo, 2001).

Em todos os solos onde se estuda os efeitos dos sulcadores de fertilizante, é possível notar que a haste é o elemento que mais conseguiu diminuir a porosidade das partículas do solo. (Mello, 2002)

Landers (1995) observou que a única forma de diminuir a compactação do solo é através do uso de haste.

## **2.6 Demanda energética**

A força de tração necessária para a operação de semeadoras de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, com bom leito de semeadura, varia de  $900 \text{ N} \pm 25\%$ , por linha de semeadura (ASAE, 1999). A exigência de força de tração em semeadoras está relacionada com o tipo de solo, a profundidade de semeadura e adubação, a velocidade de semeadura, o teor de água e o preparo do solo.

A escolha da velocidade de deslocamento adequada depende de vários fatores, primeiramente, é importante considerar a tarefa específica que está sendo realizada. Por exemplo, operações como a semeadura podem exigir uma velocidade mais lenta para garantir a precisão e a uniformidade na distribuição das sementes. Em contrapartida, tarefas como a pulverização podem ser realizadas a velocidades mais altas. (Cortez, *et al.*, 2006).

Furlani, *et al.*, (2005), trabalhando em sistema plantio direto com semeadora de quatro linhas, espaçadas de 0,90 m, em Latossolo Vermelho eutrófico (65 % de argila), observaram de demanda de força de tração e potência na barra de 20 kN e 28 kW, respectivamente.

O desempenho de tratores agrícolas é diferente de acordo com o tipo solo, cobertura vegetal, resto de culturas e a compactação do solo. (Lanças, *et al.*, 2010).

É possível analisar a demanda de potência que cada unidade de plantio, ou seja, cada linha da semeadora utiliza do trator, esse valor fica entre 900 e 3400 Newtons. (ASABE, 2011).

Deve ser levado em consideração a potência máxima do trator pois a operação para diminuir a densidade das partículas do solo são as que exigem maior força, além de ser um implemento que irá receber diretamente toda força do solo em sua estrutura, tornando a operação pesada para o tracionamento. (Bai, 2011).

A otimização do uso das máquinas agrícolas no campo pode garantir a eficiência da operação e menor consumo de combustível (Modolo, 2003.)

Mensurar a carga utilizada na operação de equipamentos que rompimento do solo é de grande importância, tendo em vista o desgaste do equipamento caso o dimensionamento entre a relação trator e implemento esteja errada. (Mantovani, 1992.)

Os resultados observados por um ensaio com trator 4x2 TDA, mostrou que o melhor desempenho foi resultado obtido em solo firme, seguindo pelo solo com cobertura vegetal de milho e a menor tração em solo mobilizado. (Lanças, *et al.*, 2010.)

Com o início do plantio direto as semeadoras foram ganhando peso e robustez para que o seu trabalho no campo não fosse impedido quando se trabalha em um solo mais compactado, isso fez com que conseqüentemente os tratores tivessem mais peso para puxar, exigindo assim maior potência de seus motores para garantir a eficiência da operação. (Silveira, *et al.*, 2001.)

Segundo Francetto, *et al.*, (2016), a velocidade de operação está intrinsecamente relacionada com a potência requerida para a operação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Campo experimental

O trabalho foi realizado em áreas da Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCA/UNESP), campus Botucatu – SP, em áreas didáticas sob supervisão do Grupo de Pesquisa em Plantio Direto (GPD). Segundo Köppen o clima da região é classificado como Cwa, caracterizado por inverno seco e verão quente e chuvoso.

**Figura 2 - Área da Fazenda experimental Lageado, Unesp FCA - Botucatu/SP**



Fonte: Google Maps Pro (2024)

**Tabela 1 - Análise granulométrica (g kg<sup>-1</sup>) do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA)**

| Área | Areia total | Areia grossa | Areia média | Areia fina | Argila | Silte |
|------|-------------|--------------|-------------|------------|--------|-------|
| LVA  | 675         | 99           | 198         | 377        | 261    | 64    |

#### 3.2 Unidade de ensaio para dispositivos de preparo de solo

Foram analisadas 3 modelos de hastes sulcadoras para avaliar o desempenho com o aumento da velocidade de plantio sem que haja um revolvimento muito acentuado do solo e diminuição do esforço exigido para a operação de plantio.

Para coleta de dados desses modelos de haste foi utilizado um equipamento específico, com sistema de célula de carga modelo da fabricante Alfa Instrumentos 3107C.S de 25 hz para que as forças provenientes dos modelos fossem quantificadas da maneira correta.

**Figura 3 – Trator John Deere 6600 utilizado no ensaio**



Foto: Tomás Baio - 2024

**Figura 4 - Estrutura equipada no braço hidráulico do trator**



Foto: Tomás Baio - 2024

**Figura 5 - Estrutura equipada com célula de carga**



Foto: Tomás Baio - 2024

**Figura 6 - Painel para aquisição dos dados**

Foto: Tomás Baio - 2024

Para o armazenamento dos dados da célula de carga foi utilizado o programa Putty® - Versão 0.62 para Windows, esse programa reconhece os pulsos enviados pela célula de carga com uma frequência de 25 hz, a comunicação da célula para o computador através de um cabo USB. O equipamento foi colocado na cabine do trator e conectado na célula de carga, em cada coleta dentro do tratamento o sistema foi iniciado previamente e os dados adquiridos no momento que o trator iniciou o deslocamento em cada faixa, a qual tinha 50 metros de comprimento e 5 metros de largura com 5 repetições com 24 coleta de dados totalizando 120 dados por faixa de cada tratamento.

### **3.3 Determinação da profundidade**

O equipamento foi regulado para trabalhar na profundidade de 16 cm, conforme demonstrado na imagem do sulco aberto de semeadura e na estrutura através do fuso para que fosse mantida a profundidade escolhida. Como demonstrado na Figura 4 esse equipamento é capaz de ajustar a profundidade independente da regulagem de pressão na mola.

Para a avaliação da profundidade foi utilizado uma trena de 10m e uma estaca de madeira.

**Figura 7 - Avaliação da profundidade de trabalho da haste sulcadora**



**Figura 8 - Avaliação da profundidade de trabalho efetiva**



### 3.4 Perfilometro

A área de solo mobilizada, em  $\text{cm}^2$ , foi aferida por meio de um perfilometro de varetas (Mahl, 2002), composto por 33 hastes metálicas com 0,5 m de comprimento, espaçadas em 0,015 m. Para cada coleta, sendo o total de 5 repetições por parcela de 75 amostra o perfilometro foi posicionado antes e após a passagem da haste para determinação da porção de solo mobilizada a cada passagem totalizando assim 225 medições no ensaio realizado, esses dados foram passados em uma planilha para aferição dos dados.

**Figura 9 – Perfilometro (Mahl, 2002) utilizado para análise do solo**



Foto: Tomás Baio - 2024

### 3.5 Delineamento experimental

O trabalho foi conduzido em delineamento experimental em faixas, com esquema fatorial DIC em parcelas subdivididas (5x3), sendo 5 velocidades deslocamento (4; 6; 8; 10 e 12  $\text{km.h}^{-1}$ ) e 3 modelos de hastes: haste curva com ponteira alongada, haste curva de ponteira curta e haste reta com deslocamento lateral, para a coleta de dados de força foi percorrido 50 m e para a análise com o perfilometro foi realizado repetições por tratamento para a análise de revolvimento do solo.

**Figura 10 - Modelos de hastes utilizadas no ensaio**



a) haste curva com ponteira alongada; b) haste curva de ponteira curta e c) haste reta com deslocamento lateral; Fonte: Tomás Baio

### 3.6 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram compostos da interação dos mecanismos sulcadores e as velocidades aplicadas.

**Tabela 2 - Classificação dos tratamentos**

| Mecanismo sulcadores                    | Velocidades aplicadas       |
|-----------------------------------------|-----------------------------|
| H1: Haste curva com ponteira alongada   | V1: 4,0 km.h <sup>-1</sup>  |
| H2: Haste reta com deslocamento lateral | V2: 6,0 km.h <sup>-1</sup>  |
| H3: Haste curva de ponteira curta       | V3: 8,0 km.h <sup>-1</sup>  |
|                                         | V4: 10,0 km.h <sup>-1</sup> |
|                                         | V5: 12,0 km.h <sup>-1</sup> |

### 3.7 Instalação e condução do experimento

Cada unidade experimental tinha 50 m de comprimento e largura de 15 m, conforme croqui da implantação do experimento.

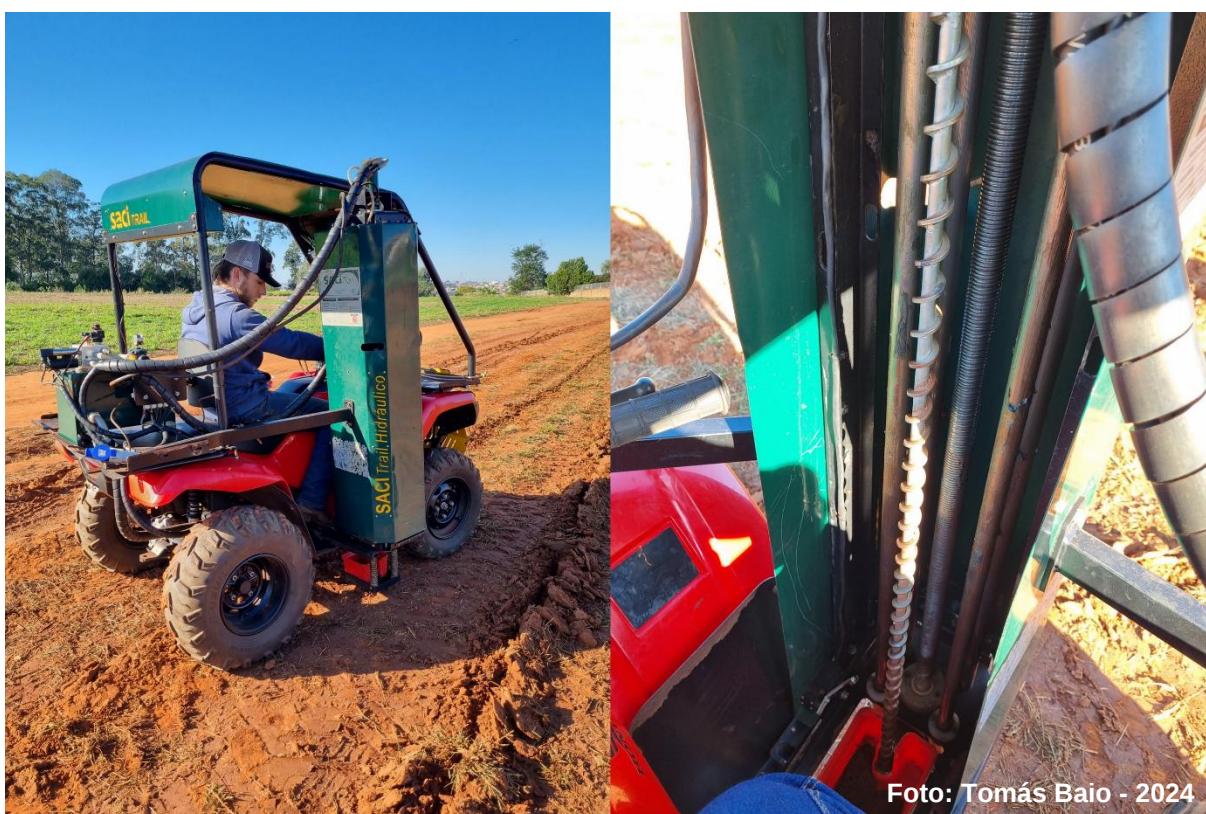
**Tabela 3 - Croqui do ensaio em faixas**

|     |        |        |        |        |        |     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
|     | 50 m   |        |        |        |        |     |
| T1  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 | 5 m |
| T2  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T3  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T4  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T5  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T6  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T7  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T8  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T9  | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T10 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T11 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T12 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T13 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T14 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |
| T15 | Rep 01 | Rep 02 | Rep 03 | Rep 04 | Rep 05 |     |

### 3.8 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida através de um equipamento montado no quadriciclo da marca Saci – Amostrador Saci Trail Comando Automático com GPS para identificação dos pontos de amostragem. Foram analisados 25 pontos para amostragem da compactação em área total e 5 pontos por tratamento para a análise da descompactação no sulco de plantio em uma profundidade de 20 cm.

**Figura 11 - Equipamento para análise da resistência a penetração do solo**



**Figura 12 - Pontos de coleta de resistência a penetração em área total**



Fonte: Google Maps Pro (2024)

**Figura 13 - Exemplo da coleta de 5 pontos por tratamento após passagem da haste sulcadora**



Fonte: Google Maps Pro (2024)

### **3.9 Teor de água do solo**

A determinação do teor de água do solo foi avaliada através do medidor portátil automático de marca Delta-T Devices, modelo HH2 Moisture Meter, Cambridge – England.

**Figura 14 - Equipamento para análise da umidade do solo**



Foto: Tomás Baio - 2024

### 3.10 Força média na barra de tração

Os dados foram registrados em quatro repetições, tabelados e calculados de acordo com a Equação (1).

$$Fm = \sum_{i=1}^n (Fi/n) \times 9,81$$

Em que,

Fm = Força média na barra de tração(N)

Fi = Força instantânea (kgf)

n = Número de dados registrados

9,81 = Constante

### 3.11 Força máxima na barra de tração

Foi analisada através dos maiores valores das repetições realizadas dos tratamentos.

### 3.12 Força horizontal por área de solo mobilizada

Os valores de força horizontal por área de solo mobilizada foram calculados a partir da relação entre a força horizontal na barra de tração e a área de solo mobilizado, de acordo com a Equação (2).

$$F_{am} = F_m / A_m$$

Em que,

$F_{am}$  = Força horizontal por área de solo mobilizada ( $N\ cm^{-2}$ )

$F_m$  = Força média na barra de tração (N)

$A_m$  = Área de solo mobilizada ( $cm^2$ )

### 3.13 Força máxima horizontal por área de solo mobilizadas

Foi analisada através dos maiores valores das repetições realizadas dos tratamentos.

### 3.14 Força horizontal específica

Os valores de força horizontal específica foram calculados a partir da relação entre a força horizontal na barra de tração e a profundidade de trabalho, de acordo com a Equação (3).

$$F_e = F_m / P$$

Em que,

$F_e$  = Força horizontal específica ( $N\ mm^{-1}$ ) ou  $N\ cm^{-1}$

$F_m$  = Força média na barra de tração (N)

$P$  = Profundidade de trabalho (mm) ou cm

### 3.15 Força máxima horizontal específica

Foi analisada através dos maiores valores das repetições realizadas dos tratamentos.

### 3.16 Potência na barra de tração

Para determinar a potência demandada na barra de tração em função das hastes e carga vertical, foi utilizada a Equação (4), proposta pela ASAE (1999).

$$Pb = \frac{Fm \times V}{3,6}$$

Em que,

Pb – Potência na barra (kW)

Fm – Força média na barra de tração (N)

V – Velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>)

### 3.17 Potência máxima na barra de tração

Foi analisada através dos maiores valores das repetições realizadas dos tratamentos.

### 3.18 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e nos casos de variações significativas ( $P < 0,05$ ) procedeu-se o teste de Tukey a 5% de significância no programa Sisvar – Versão 5.6 Build 86.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados expostos foram divididos em dados para tipo de haste, sendo haste curva com ponteira alongada (H1), haste curva com ponteira curta (H2), haste reta com deslocamento lateral (H3) e para as velocidades 4, 6, 8, 10 e 12 km h<sup>-1</sup>.

É possível através dos resultados das análises de variância observar que existe o Coeficiente de Variação 1 (CV1), que representa a variabilidade dos dados dentro da faixa aonde os dados do ensaio foram coletados e o coeficiente de variação 2 (CV2), que se refere a variabilidade dos dados do ensaio de cada parcela subdivida, caracterizando assim o modelo de análise estatística do termo “Split-Plot” que representa o delineamento de parcelas subdivididas.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de resistência a penetração entre 0 e 20 cm de profundidade da média de 25 pontos da área total do ensaio.

**Tabela 4 - Análise da resistência a penetração da área total**

| Profundidade (cm) | Resistencia (kPa) |
|-------------------|-------------------|
| 0 - 4             | 600               |
| 4 - 8             | 1000              |
| 8 - 12            | 1200              |
| 12 - 16           | 1800              |
| 16 - 20           | 2300              |

Foram encontrados para a profundidade de trabalho do equipamento a 16 cm um valor de compactação de 1.800 justificando assim o uso de haste na semeadora-adubadora. Isso demonstra que a área estava com uma compactação considerada negativa para o bom desenvolvimento radicular de cultura e prejudicando a produtividade.

Beutler e Centurion, *et al.*, (2003) observaram que a produtividade de soja é reduzida em valores de IC (índice de compactação) entre 1,660 e 3,050 kPa entre 8 e 16 cm.

**Tabela 5 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa)  
entre 0 e 4 cm**

| FV                         | GL     | SQ         | QM       | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|------------|----------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 5352,00    | 2676,00  | 0,148 | 0,8637ns |
| erro 1                     | 12     | 216488,00  | 18040,67 |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 210440,00  | 52610,00 | 2,470 | 0,0571ns |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 114528,00  | 14316,00 | 0,672 | 0,7133ns |
| erro 2                     | 48     | 1022392,00 | 21299,83 |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 1569200,00 |          |       |          |
| CV 1                       | 34,09% |            |          |       |          |
| CV 2                       | 37,04% |            |          |       |          |
| Média geral                | 394    |            |          |       |          |
| Número de observações      | 75     |            |          |       |          |

ns: Não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

De acordo com os resultados da Tabela 5 não foi considerado nenhuma significância na estatística, isso se deve ao fato de que a profundidade analisada é a mesma em que muitas culturas são semeadas, então se entender que muito dificilmente irá se ter um valor de compactação nesta profundidade, por este motivo não foi apresentado nenhum desdobramento estatístico.

**Tabela 6 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 4 e 8 cm**

| FV                         | GL     | SQ         | QM       | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|------------|----------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 28530,67   | 14265,33 | 2,140 | 0,1604ns |
| erro 1                     | 12     | 80008,00   | 6667,33  |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 94725,33   | 23681,33 | 3,026 | 0,0264** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 31442,67   | 3930,33  | 0,502 | 0,8486ns |
| erro 2                     | 48     | 375672,00  | 7826,50  |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 610.378,67 |          |       |          |
| CV 1                       | 10,52% |            |          |       |          |
| CV 2                       | 11,40% |            |          |       |          |
| Média geral                | 776,13 |            |          |       |          |
| Número de observações      | 75     |            |          |       |          |

ns: Não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 7 - Análise Tukey das médias em função velocidade (km h<sup>-1</sup>) - resistência a penetração (kPa) entre 4 e 8 cm**

| Velocidades (km h <sup>-1</sup> ) | Médias (kPa) |
|-----------------------------------|--------------|
| 4                                 | 817,33 b     |
| 6                                 | 784,67 ab    |
| 8                                 | 808 ab       |
| 10                                | 725,33 a     |
| 12                                | 745,33 ab    |
| DMS                               | 91,58        |

Observando a Tabela 6 por já representar uma profundidade em que se realiza a deposição do fertilizante foi considerado uma significância para o fator velocidade isolado, tendo como base da discussão a Tabela 7 é possível identificar que na velocidade de 10 km h<sup>-1</sup> se obteve o melhor índice resistência a penetração do solo.

Esse fenômeno pode ter ocorrido por conta do acúmulo de força mecânica da haste em relação ao solo, pois quanto maior a velocidade maior será também a força de impacto do elemento sulcador contra o solo fazendo que o poder de rompimento do solo aumente.

Enquanto na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> se teve o maior valor para a resistência a penetração no solo, pois nessa velocidade o acúmulo de força mecânica é menor do que a velocidade de 10 km h<sup>-1</sup> e consequentemente o poder de rompimento do solo diminui e causa um resultado 11,25% maior.

**Tabela 8 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm**

| FV                         | GL     | SQ         | QM       | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|------------|----------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 152288,00  | 76144,00 | 4,425 | 0,0364** |
| erro 1                     | 12     | 206504,00  | 17208,67 |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 303845,33  | 75961,33 | 4,489 | 0,0037** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 186698,67  | 23337,33 | 1,379 | 0,2297ns |
| erro 2                     | 48     | 812176,00  | 16920,33 |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 1661512,00 |          |       |          |
| CV 1                       | 14,37% |            |          |       |          |
| CV 2                       | 14,25% |            |          |       |          |
| Média geral                | 912,8  |            |          |       |          |
| Número de observações      | 75     |            |          |       |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 9 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste - resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm**

| Modelo de Haste | Médias (kPa) |
|-----------------|--------------|
| H1              | 955,2 b      |
| H2              | 932,8 ab     |
| H3              | 850,4 a      |
| DMS             | 99,04        |

**Tabela 10 - Análise Tukey das médias em função da velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) - resistência a penetração (kPa) entre 8 e 12 cm**

| Velocidades ( $\text{km h}^{-1}$ ) | Médias (kPa) |    |
|------------------------------------|--------------|----|
| 4                                  | 994          | b  |
| 6                                  | 942          | b  |
| 8                                  | 932,67       | ab |
| 10                                 | 803,33       | a  |
| 12                                 | 892          | ab |
| DMS                                | 134,65       |    |

Já quando passamos para uma profundidade de deposição de fertilizante como apresentado na Tabela 8 e que não se tem mais influência de elementos de deposição de semente, temos a significância de dois fatores: haste e velocidade, mas não a interação entre eles.

A análise da Tabela 9 traz como melhor resultado para a descompactação do solo o modelo H3, isto se deve ao fator de construção do modelo pois sua ponteira curta faz com que o cisalhamento do solo seja mais agressivo, enquanto o modelo H1 por ter a ponteira mais longa esse efeito diminui e conseqüentemente a resistência a penetração do modelo seja maior em 10,97% em relação ao modelo H3 e o H2 sendo o modelo intermediário.

Para o fator de velocidade que é apresentado na Tabela 10 traz o modelo H3 como melhor resultado de descompactação na velocidade de  $10 \text{ km h}^{-1}$ , como citado anteriormente esse fator se deve ao acúmulo de força mecânica provinda da velocidade elevada para a operação de deposição do fertilizante em profundidade, ainda é possível observar que na velocidade de 4 e  $6 \text{ km h}^{-1}$  ela apresentou um índice de maior para a resistência de penetração do solo de 19,18% e 19,16%.

**Tabela 11 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm**

| FV                         | GL     | SQ         | QM        | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|------------|-----------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 623858,67  | 311929,33 | 5,484 | 0,0203** |
| erro 1                     | 12     | 682576,00  | 56881,33  |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 739728,00  | 184932,00 | 5,862 | 0,0006** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 517248,00  | 64656,00  | 2,049 | 0,0601ns |
| erro 2                     | 48     | 1514344,00 | 31548,83  |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 4077754,67 |           |       |          |
| CV 1                       | 21,22% |            |           |       |          |
| CV 2                       | 15,81% |            |           |       |          |
| Média geral                | 912,8  |            |           |       |          |
| Número de observações      | 75     |            |           |       |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 12 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste e velocidade (km h<sup>-1</sup>) - resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm**

| Modelo de Haste | Médias (kPa) |
|-----------------|--------------|
| H1              | 1205 b       |
| H2              | 1169 ab      |
| H3              | 996 a        |
| DMS             | 180,06       |

**Tabela 13 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste e velocidade (km h<sup>-1</sup>) - resistência a penetração (kPa) entre 12 e 16 cm**

| Velocidade (km h <sup>-1</sup> ) | Médias (kPa) |
|----------------------------------|--------------|
| 4                                | 1159 bc      |
| 6                                | 1232 c       |
| 8                                | 1210 bc      |
| 10                               | 974 a        |
| 12                               | 1043 ab      |
| DMS                              | 183,87       |

A mesma análise em que somente os dois fatores: haste e velocidade, pode ser observado na Tabela 11. Analisando os modelos utilizados de haste sulcadora na Tabela 12 o modelo H3 apresenta o melhor dado para a descompactação, ou seja, o menor índice de resistência a penetração do solo, enquanto o modelo H1 apresenta um valor 17,34% maior, enquanto o modelo H2 se manteve com valores intermediários em relação aos outros.

Na Tabela 13 em que se analisa o fator de velocidade, é possível como anteriormente citado identificar que a menor resistência a penetração do solo foi na velocidade de 10 km h<sup>-1</sup> e nesta profundidade entre 12 e 16 cm o maior valor de resistência se deu na velocidade de 6 km h<sup>-1</sup> de 20,95%.

**Tabela 14 - Resumo da análise de variância – resistência a penetração (kPa)  
entre 16 e 20 cm**

| FV                         | GL      | SQ         | QM        | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|---------|------------|-----------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2       | 597410,67  | 298705,33 | 3,019 | 0,0867ns |
| erro 1                     | 12      | 1187296,00 | 98941,33  |       |          |
| Velocidade                 | 4       | 1969920,00 | 492480,00 | 9,863 | 0,0000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 1078656,00 | 134832,00 | 2,700 | 0,0154** |
| erro 2                     | 48      | 2396784,00 | 49933,00  |       |          |
| Total corrigido            | 74      | 7230066,67 |           |       |          |
| CV 1                       | 23,22%  |            |           |       |          |
| CV 2                       | 16,50%  |            |           |       |          |
| Média geral                | 1354,67 |            |           |       |          |
| Número de observações      | 75      |            |           |       |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 15 - Desdobramento da análise de variância - Resistência a penetração (kPa) entre 16 e 20 cm**

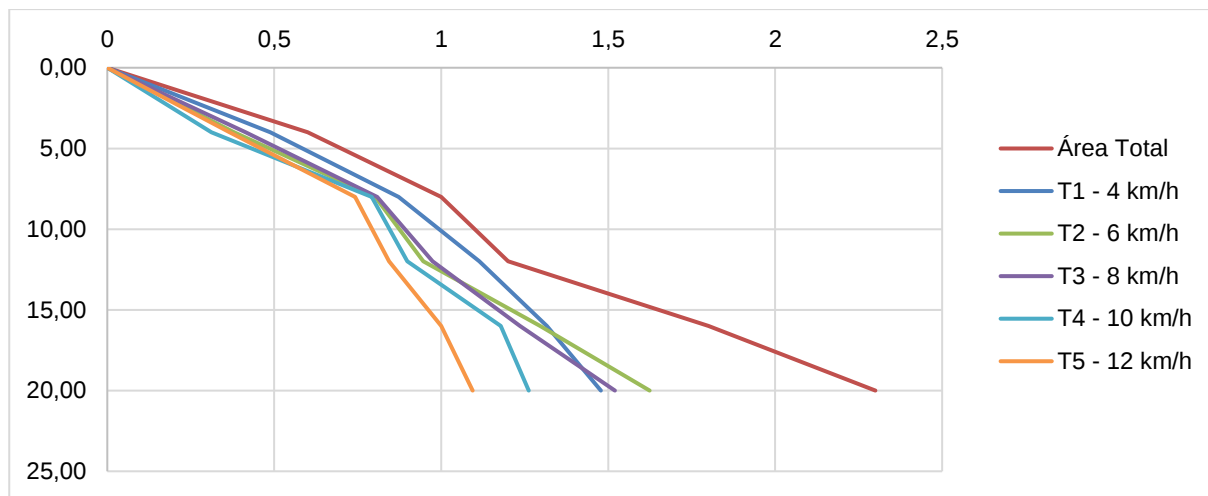
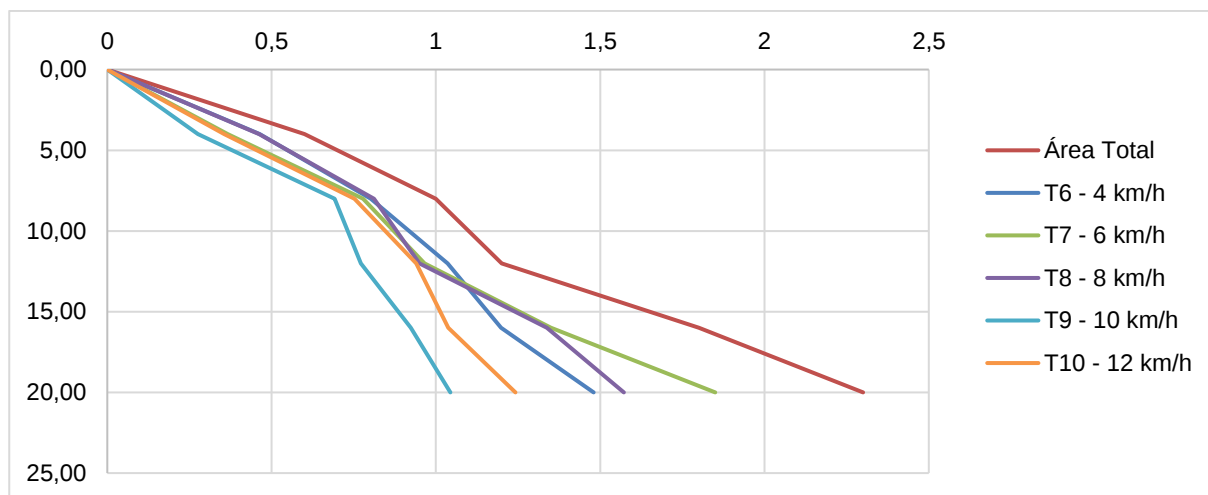
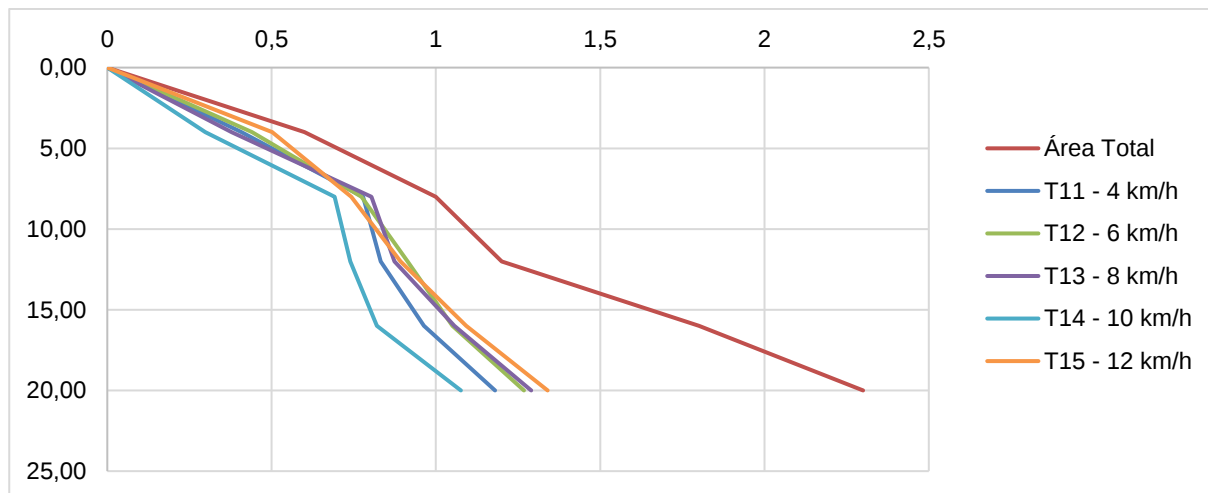
| Modelo de Haste | Velocidade (km h <sup>-1</sup> ) |     |        |     |        |     |        |     |        |     |
|-----------------|----------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
|                 | 4                                |     | 6      |     | 8      |     | 10     |     | 12     |     |
| H1              | 1478                             | ABa | 1624   | Bab | 1520   | Ba  | 1262   | ABa | 1094   | Aa  |
| H2              | 1480                             | BCa | 1850   | Cb  | 1572   | BCa | 1044   | Aa  | 1242   | ABa |
| H3              | 1180                             | Aa  | 1268   | Aa  | 1290   | Aa  | 1076   | Aa  | 1340   | Aa  |
| DMS             | 372,64                           |     | 372,64 |     | 372,64 |     | 372,64 |     | 372,64 |     |

DMS: 400,66 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Já em maiores profundidades que até mesmo sai dos parâmetros de adubação no plantio entre 16 e 20 cm como a Tabela 14, além dos fatores serem considerados significantes estatisticamente houve a interação entre eles, e por esse motivo será realizado somente o desdobramento da interação entre eles a Tabela 15.

É possível observa que na velocidade de 10 km h<sup>-1</sup>, para todos os modelos de hastes utilizados no ensaio foram os que obtiveram o menor índice de resistência a penetração do solo, sendo representado o menor valor no modelo H3 e sendo o mesmo modelo que apresentou o maior valor de resistência a penetração do solo, na velocidade de 6 km h<sup>-1</sup> de 43,56% maior, mas tendo semelhança também para outras velocidades como 4 e 12 km h<sup>-1</sup>.

Por se tratar de uma camada do solo aonde ele se encontra mais coeso do que as outras que foram analisadas, possivelmente essa coesão se deve ao fator do tráfego de máquinas agrícolas na área a qual realiza a compactação em maiores profundidades por conta do seu peso. Os modelos de hastes utilizados tiveram uma capacidade maior de descompactar o solo.

**Figura 15 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H1****Figura 16 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H2****Figura 17 - Resumo das forças de resistência a penetração (kPa) para o H3**

Através da análise gráfica apresentada na Figura 11, 12 e 13 é possível se ter a ideia do poder de diminuição da resistência a penetração do solo, ou seja, se o modelo de haste conseguiu diminuir a compactação no sulco de plantio em relação a compactação da área total.

**Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a área de revolvimento do solo (m<sup>2</sup>)**

| FV                         | GL     | SQ    | QM   | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|-------|------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 7,28  | 3,64 | 4,964 | 0,0269** |
| erro 1                     | 12     | 8,80  | 0,73 |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 0,75  | 0,19 | 0,56  | 0,6928ns |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 5,25  | 0,66 | 1,97  | 0,0709ns |
| erro 2                     | 48     | 16,00 | 0,33 |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 38,08 |      |       |          |
| CV 1                       | 73,82% |       |      |       |          |
| CV 2                       | 49,77% |       |      |       |          |
| Média geral                | 1,16   |       |      |       |          |
| Número de observações      | 75     |       |      |       |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 17 - Análise das médias em função do modelo de haste - área de revolvimento do solo (m<sup>2</sup>)**

| Modelo de Haste | Médias (m2) |
|-----------------|-------------|
| H1              | 1,2 ab      |
| H2              | 1,52 b      |
| H3              | 0,76 a      |
| DMS             | 0,65        |

Através dos resultados da Tabela 16 somente o fator haste foi considerado significativo para analisar a área de revolvimento do solo (m<sup>2</sup>), esta análise nos mostra o quanto de solo foi retirado do sulco de plantio em relação ao solo sem passar o equipamento utilizado no ensaio.

Diferente de todas as outras análises de variância apresentados até este momento é possível observar que o CV 1 de 73,82% está elevado, isso se deve ao fato de que

o revolvimento do solo é uma análise de um elemento que não tem uma trajetória conhecida, ou seja, a todo o momento o solo é expelido do sulco de semeadura de forma desconhecida, e por isso os dados apresentaram valores distintos entre si fazendo com que o coeficiente de variação se elevasse.

Os resultados da Tabela 17 mostra que o modelo de haste H3 obteve o menor revolvimento em comparação os outros modelos, sendo que o modelo H2 obteve um resultado 50% maior.

Esse fator de revolvimento é de suma importância no momento do plantio, pois quanto mais solo for retirado do sulco de plantio maior será a dificuldade de seu retorno pelas rodas compactadoras da semeadora, por isso o modelo H3 obteve o melhor resultado entre as outras hastes.

As diferenças entre as hastes estudadas vão de encontro segundo as afirmações de Godwin e O'dogherty (1978), a utilização de modelos com diferentes formatos e inclinações pode aumentar ou diminuir os torrões no solo, assim observado por Conte (2011), em seu estudo sobre a mobilização do solo a eficiência foi maior no Latossolo do que no Argissolo.

**Tabela 18 - Resumo da análise de variância - Profundidade (cm)**

| FV                         | GL     | SQ     | QM   | Fc    | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|--------|------|-------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 16,99  | 8,49 | 2,800 | 0,1005ns |
| erro 1                     | 12     | 36,40  | 3,03 |       |          |
| Velocidade                 | 4      | 36,72  | 9,18 | 7,869 | 0,0001** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 20,08  | 2,51 | 2,151 | 0,0486** |
| erro 2                     | 48     | 56,00  | 1,17 |       |          |
| Total corrigido            | 74     | 166,19 |      |       |          |
| CV 1                       | 11,30% |        |      |       |          |
| CV 2                       | 7,01%  |        |      |       |          |
| Média geral                | 15,41  |        |      |       |          |
| Número de observações      | 75     |        |      |       |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 19 - Desdobramento da análise de variância da profundidade (cm)**

| Modelo de Haste | Velocidade (km h <sup>-1</sup> ) |     |      |    |      |    |      |     |      |    |
|-----------------|----------------------------------|-----|------|----|------|----|------|-----|------|----|
|                 | 4                                |     | 6    |    | 8    |    | 10   |     | 12   |    |
| H1              | 15,6                             | ABa | 14,8 | Aa | 14,6 | Aa | 16   | ABa | 17   | Bb |
| H2              | 16                               | Aa  | 15   | Aa | 14,4 | Aa | 16   | Aa  | 18   | Bb |
| H3              | 14,6                             | Aa  | 15   | Aa | 14,6 | Aa | 14,8 | Aa  | 14,8 | Aa |
| DMS             | 1,9                              |     | 1,9  |    | 1,9  |    | 1,9  |     | 1,9  |    |

DMS: 1,94 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Através dos dados da Tabela 18 onde nos mostra a interação entre os dois fatores: haste e velocidade, e por esse motivo iremos analisar somente o desdobramento estatístico entre eles.

Como é possível observar na Tabela 19 que apesar de haver bastante similaridade entre os modelos de haste e a velocidade, é possível observar uma tendencia nos modelos H1 e H2 entre as velocidades 4 e 8 km h<sup>-1</sup> uma diminuição da profundidade de trabalho em relação ao que foi regulado o equipamento de 16 cm.

Somente na maior velocidade utilizada no ensaio é que esses dois modelos obtiveram uma profundidade maior do que a regulação padrão, isto pode ser possível pelo fator de força contraria do solo em relação a haste fazendo com que ela se aprofunde mais, pois os dois modelos citados têm como característica de construção pontas mais alongadas.

Diferente do modelo H3 que por ter uma ponteira mais curta em todas as velocidades utilizadas ela obteve o mesmo valor estatístico de profundidade. Conforme Siqueira, *et al.*, (2001) em seu trabalho a profundidade de atuação dos sulcadores testados por estes autores variou entre 11,7 e 13,3 cm.

**Tabela 20 - Resumo da análise de variância para força média na barra (N)**

| FV                         | GL      | SQ        | QM       | Fc     | Pr>Fc    |
|----------------------------|---------|-----------|----------|--------|----------|
| Modelo de haste            | 2       | 94129353  | 47064676 | 50,365 | 0,0000** |
| erro 1                     | 12      | 11213585  | 934465   |        |          |
| Velocidade                 | 4       | 1869701   | 4672925  | 48,179 | 0,0000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 5149753   | 643719   | 6,637  | 0,0000** |
| erro 2                     | 1533    | 148687668 | 96991    |        |          |
| Total corrigido            | 1559    | 277872061 |          |        |          |
| CV 1                       | 22,60%  |           |          |        |          |
| CV 2                       | 7,28%   |           |          |        |          |
| Média geral                | 4277,69 |           |          |        |          |
| Número de observações      | 1560    |           |          |        |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 21 - Desdobramento da análise de variância - força média na barra (N)**

| Modelo de Haste | Velocidade (km h <sup>-1</sup> ) |    |        |     |        |     |        |     |        |    |
|-----------------|----------------------------------|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|----|
|                 | 4                                |    | 6      |     | 8      |     | 10     |     | 12     |    |
| H1              | 3898                             | Aa | 4079   | Ba  | 4090   | Ba  | 3964   | ABa | 4060   | Ba |
| H2              | 4017                             | Aa | 4378   | Bb  | 4307   | Bb  | 4348   | Bb  | 4352   | Bb |
| H3              | 4476                             | Ab | 4551   | ABc | 4717   | BDc | 4658   | BCc | 4804   | Dc |
| DMS             | 135,43                           |    | 165,87 |     | 191,53 |     | 217,17 |     | 234,58 |    |

DMS: 131,47 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Através do resumo da análise de variância apresentado na Tabela 20 onde se obteve significância para os dois fatores: haste e velocidade, assim como para a interação entre eles, por isso iremos somente analisar o desdobramento dessa interação.

Conforme resultados da Tabela 21 houve uma similaridade entre os modelos, pois conforme houve o incremento da velocidade no ensaio, também ocorreu o aumento da força na barra de tração (N), isso ocorre pois quanto maior a velocidade o elemento de tração, ou seja, o trator necessita de mais força para puxar a haste que está dentro solo e conseguir romper a camada compactada que a área do ensaio apresentou.

Tendo a velocidade como o fator que maior influência essa força, é nítido que na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> foi aonde se obteve os menores valores, sendo o modelo e haste H1 que apresenta o menor entre eles, em relação ao H3 que resultou em um valor de 12,91% maior, enquanto a H2 é um intermediário entre os modelos. Este mesmo fenômeno discutido ocorre na maior velocidade do ensaio a haste H1 obteve o melhor resultado, sendo que a necessita de menor força de tração para realizar a descompactação, enquanto a haste H3 necessita de uma força 15,48% maior para realizar a descompactação do solo.

Siqueira, *et al.*, (2001), utilizando 13 diferentes modelos de sulcadores tipos facões em semeadoras-adubadoras de precisão, encontraram demandas de força de tração com valores entre 1,3 e 2,2 kN/linha em profundidade de 13 cm, trabalhando numa velocidade média de 5,5 km h<sup>-1</sup>.

**Tabela 22 - Resumo da análise de variância para força máxima na barra de tração (N)**

| FV                         | GL      | SQ       | QM      | Fc     | Pr>Fc    |
|----------------------------|---------|----------|---------|--------|----------|
| Modelo de haste            | 2       | 5378072  | 2689036 | 53,195 | 0,0000** |
| erro 1                     | 12      | 606605   | 50550   |        |          |
| Velocidade                 | 4       | 445231   | 111307  | 1,343  | 0,2676ns |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 351114   | 43889   | 0,530  | 0,8282ns |
| erro 2                     | 48      | 3976894  | 82851   |        |          |
| Total corrigido            | 74      | 10757918 |         |        |          |
| CV 1                       | 4,91%   |          |         |        |          |
| CV 2                       | 6,28%   |          |         |        |          |
| Média geral                | 4581,59 |          |         |        |          |
| Número de observações      | 75      |          |         |        |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 23 - Análise das médias em função do modelo de haste - força máxima na barra de tração (N)**

| Modelo de Haste | Médias (N) |   |
|-----------------|------------|---|
| H1              | 4251       | a |
| H2              | 4586       | b |
| H3              | 4907       | c |
| DMS             | 169,74     |   |

Para a análise da força máxima na barra de tração foi tratado os dados somente dos picos de força das repetições, esse tratamento resultou conforme a Tabela 22 somente o fator modelo de haste como significativo.

Conforme resultados da Tabela 23 o modelo H1 demonstra uma menor demanda de força máxima, isso irá se refletir no campo pois poderá depender das condições de solo e inclinação do terreno o uso de tratores com uma potência menor do motor. Ao observar o modelo H3 que em nesta análise de força máxima na barra de tração obteve um resultado 13,36% maior do que H1, enquanto o modelo H2 é intermediário entre os modelos utilizados.

Casão Júnior (2001), observou em torno de 10% em seus estudos entre tipos de mecanismos sulcadores, o qual se assemelha ao encontrado no ensaio realizado. Mas são valores menores aos observados por Silva (2000) validou valores entre 20 e 29%.

**Tabela 24 - Resumo da Análise de variância para força média por área de solo mobilizado ( $\text{N m}^{-2}$ )**

| FV                         | GL      | SQ        | QM        | Fc      | Pr>Fc    |
|----------------------------|---------|-----------|-----------|---------|----------|
| Modelo de haste            | 2       | 307420501 | 153710250 | 17,792  | 0,0003** |
| erro 1                     | 12      | 103674306 | 8639525   |         |          |
| Velocidade                 | 4       | 155387816 | 38846954  | 245,519 | 0,0000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 64372601  | 8046575   | 50,856  | 0,0000** |
| erro 2                     | 1533    | 242557584 | 158224    |         |          |
| Total corrigido            | 1559    | 873412811 |           |         |          |
| CV 1                       | 99,53%  |           |           |         |          |
| CV 2                       | 13,47%  |           |           |         |          |
| Média geral                | 2953,14 |           |           |         |          |
| Número de observações      | 1560    |           |           |         |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 25 - Desdobramento da análise de variância para força média por área de solo revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ )**

| Modelo de Haste | Velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) |    |        |    |        |    |        |    |        |    |
|-----------------|-----------------------------------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
|                 | 4                                 |    | 6      |    | 8      |    | 10     |    | 12     |    |
| H1              | 2060                              | Aa | 2071   | Aa | 3111   | Ba | 3016   | Ba | 3088   | Ba |
| H2              | 2470                              | Ab | 2448   | Aa | 3276   | Ba | 3307   | Ba | 3311   | Ba |
| H3              | 3494                              | Ac | 3566   | Ab | 3588   | Aa | 3543   | Aa | 3654   | Aa |
| DMS             | 375,90                            |    | 460,38 |    | 531,60 |    | 602,78 |    | 651,08 |    |

DMS: 162,55 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Conforme a Tabela 24 a interação entre dois fatores: haste e velocidade, se mostrou significativa estatisticamente, e por isso somente a análise do desdobramento entre a interação entre eles é analisada.

Os resultados da Tabela 25 o modelo de haste H1 demonstrou por todo o ensaio realizado que mesmo na maior velocidade de  $12 \text{ km h}^{-1}$  ela ainda ficou 11,62% menor do que o modelo H3 na menor velocidade de  $4 \text{ km h}^{-1}$ , demonstrando que o seu modelo estrutural de construção para uma haste que tenha um consumo de força menor se comprova.

Outro ponto a ser considerado é que ao olharmos os modelos de haste em cada velocidade executada no ensaio, é possível extrair a informação de que o modelo H2 foi intermediário entre H1 e H3 no parâmetro de força utilizado nessa análise.

**Tabela 26 - Resumo da análise de variância para força máxima por área de solo revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ )**

| FV                         | GL      | SQ       | QM      | Fc     | Pr>Fc    |
|----------------------------|---------|----------|---------|--------|----------|
| Modelo de haste            | 2       | 1175802  | 5876401 | 24,047 | 0,0001** |
| erro 1                     | 12      | 2932416  | 244368  |        |          |
| Velocidade                 | 4       | 6522711  | 1630677 | 8,870  | 0,0000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 4205116  | 525639  | 2,859  | 0,0110** |
| erro 2                     | 48      | 8823944  | 183832  |        |          |
| Total corrigido            | 74      | 34236991 |         |        |          |
| CV 1                       | 15,19%  |          |         |        |          |
| CV 2                       | 13,17%  |          |         |        |          |
| Média geral                | 3255,28 |          |         |        |          |
| Número de observações      | 75      |          |         |        |          |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 27 - Desdobramento da análise de variância - força máxima por área de solo revolvido ( $\text{N m}^{-2}$ )**

| Modelo de Haste | Velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) |    |        |    |        |    |        |    |        |    |
|-----------------|-----------------------------------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
|                 | 4                                 |    | 6      |    | 8      |    | 10     |    | 12     |    |
| H1              | 2227                              | Aa | 2211   | Aa | 3249   | Ba | 3164   | Ba | 3235   | Ba |
| H2              | 2636                              | Aa | 2651   | Aa | 3534   | Ba | 3485   | Ba | 3552   | Ba |
| H3              | 3813                              | Ab | 3836   | Ab | 3782   | Aa | 3668   | Aa | 3781   | Aa |
| DMS             | 673,28                            |    | 673,28 |    | 673,28 |    | 673,28 |    | 673,28 |    |

DMS: 768,75 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

A exigência da força máxima por área de solo revolvido apresentado na Tabela 26 apresenta interação entre os fatores conforme anteriormente observado, e por isso o desdobramento estatístico foi dado pela Tabela 27, e a sua análise mostra uma grande semelhança com a análise de força média de solo revolvido, pois é possível identificar que a haste de modelo H1 ainda é a que menos exige força por área de solo revolvido,

e que mesmo na velocidade de 12 km h<sup>-1</sup> de 15,15% menor do que H3 na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup>.

Possível de ser interpretado também que nas velocidades entre 4 e 6 km h<sup>-1</sup> para os modelos H1 e H2, uma demanda de força menor quando comparados com as velocidades restantes utilizadas no ensaio podendo chegar entre 24,95% e 31,95% de diferença entre a velocidade de 6 e 8 km h<sup>-1</sup>.

Outro dado importante de se observar é que o modelo H3 dentre todas as velocidades utilizadas no ensaio, em todas elas a força se manteve dentro de um padrão, não gerando nenhuma diferença estatística, além de demonstrar que entre as hastes ela se caracteriza por ser uma modelo que consome muita força para realizar a descompactação do solo no momento da semeadura.

**Tabela 28 - Resumo da análise de variância para força média horizontal específica (N cm<sup>-1</sup>)**

| <b>FV</b>                  | <b>GL</b> | <b>SQ</b>  | <b>QM</b> | <b>Fc</b> | <b>Pr&gt;Fc</b> |
|----------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------------|
| Modelo de haste            | 2         | 548553,05  | 274276,53 | 40,482    | 0,0000**        |
| erro 1                     | 12        | 81302,83   | 6775,24   |           |                 |
| Velocidade                 | 4         | 271106,10  | 67776,53  | 124,441   | 0,0000**        |
| Modelo de haste*Velocidade | 8         | 79330,00   | 9916,25   | 18,207    | 0,0000**        |
| erro 2                     | 1533      | 834947,34  | 544,65    |           |                 |
| Total corrigido            | 1559      | 1815239,32 |           |           |                 |
| CV 1                       | 29,52%    |            |           |           |                 |
| CV 2                       | 8,37%     |            |           |           |                 |
| Média geral                | 278,83    |            |           |           |                 |
| Número de observações      | 1560      |            |           |           |                 |

ns: não significativo e \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 29 - Desdobramento da análise de variância - força média horizontal específica ( $\text{N cm}^{-1}$ )**

| Modelo de Haste | Velocidade ( $\text{km h}^{-1}$ ) |    |        |    |        |     |        |    |        |    |
|-----------------|-----------------------------------|----|--------|----|--------|-----|--------|----|--------|----|
|                 | 4                                 |    | 6      |    | 8      |     | 10     |    | 12     |    |
| H1              | 237,90                            | Aa | 271,29 | Ba | 272,28 | Ba  | 263,89 | Ba | 270,28 | Ba |
| H2              | 248,22                            | Aa | 285,43 | Bb | 286,70 | Ba  | 289,47 | Bb | 289,72 | Ba |
| H3              | 297,45                            | Ab | 294,34 | Ab | 314,01 | BCb | 310,14 | Bc | 319,85 | Cb |
| DMS             | 11,24                             |    | 13,78  |    | 15,91  |     | 18,04  |    | 19,48  |    |

DMS: 9,95 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Através do resumo apresentando na Tabela 28 é possível observar a interação entre os fatores utilizados no ensaio e o seu desdobramento apresentado na Tabela 29, uma análise que demonstra o quanto a velocidade é atuante no quesito força são os resultados apresentados na velocidade de  $4 \text{ km h}^{-1}$  entre o modelo H1 e H3 traz uma diferença de 20% menor.

Outro ponto a se observar, é que no modelo H1 a força se manteve estatisticamente constante entre as velocidades de 6 e  $12 \text{ km h}^{-1}$ , se observa também para o H2 entre essas mesmas velocidades. O contrário do que ocorre com o modelo H3 aonde somente entre 4 e  $6 \text{ km h}^{-1}$  ela se manteve se similar, enquanto nas demais velocidades utilizadas elas foram aumentando, tendo uma diferença entre a menor velocidade e maior de 7% entre si.

**Tabela 30 - Resumo da análise de variância para força máxima horizontal específica (N cm<sup>-1</sup>)**

| FV                         | GL     | SQ       | QM       | Fc     | Pr>Fc    |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|----------|
| Modelo de haste            | 2      | 27097,31 | 13548,65 | 75,632 | 0,0000** |
| erro 1                     | 12     | 2149,68  | 179,14   |        |          |
| Velocidade                 | 4      | 7016,19  | 1754,05  | 3,009  | 0,0271** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8      | 4392,69  | 549,09   | 0,942  | 0,4917ns |
| erro 2                     | 48     | 27983,92 | 583,00   |        |          |
| Total corrigido            | 74     | 68639,79 |          |        |          |
| CV 1                       | 4,45%  |          |          |        |          |
| CV 2                       | 8,02%  |          |          |        |          |
| Média geral                | 300,95 |          |          |        |          |
| Número de observações      | 75     |          |          |        |          |

ns: não significativo \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 31 - Análise Tukey das médias em função do modelo de - força máxima horizontal específica (N cm<sup>-1</sup>)**

| Modelo de Haste Médias (N cm-1) |        |   |  |
|---------------------------------|--------|---|--|
| H1                              | 278,24 | a |  |
| H2                              | 299,84 | b |  |
| H3                              | 324,76 | c |  |
| DMS                             | 10,1   |   |  |

**Tabela 32 - Análise Tukey das médias em função da velocidade (km h<sup>-1</sup>) - força máxima horizontal específica (N cm<sup>-1</sup>)**

| Velocidades (km h <sup>-1</sup> ) Médias (N cm <sup>-1</sup> ) |        |    |  |
|----------------------------------------------------------------|--------|----|--|
| 4                                                              | 282,33 | a  |  |
| 6                                                              | 305,07 | ab |  |
| 8                                                              | 308    | b  |  |
| 10                                                             | 301    | ab |  |
| 12                                                             | 308,33 | b  |  |
| DMS                                                            | 24,99  |    |  |

Os resultados da Tabela 30, podemos analisar que apesar de haver significância entre o fator haste e velocidade, não houve a interação entre eles. Na tabela 31, podemos analisar o resultado de força máxima horizontal específica para o fator modelo de haste.

Para os valores apresentados é possível interpretar que o modelo H1, assim como analisado no modelo de força média horizontal específica, se mostra como a que exigência menor demanda de força para cada centímetro de solo penetrado de 14,33% em relação ao modelo H3 que demonstra ser a haste que exige uma força maior para o seu uso.

Observados os dados da Tabela 32, pode-se afirmar que na velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> é como já dito no modelo de análise de força média, que apresenta a menor demanda de força em relação as outras velocidades, podendo ser 8,43% menor quando comparado com a velocidade de 12 km h<sup>-1</sup>.

Esses fatores de força e velocidade demonstra o quanto o solo resistente a operação de descompactação do solo, onde a haste consome uma força do trator e a cada centímetro de solo penetrado essa força aumenta, e quando colocamos esse fator atrelado a velocidade a força que a semeadora-adubadora irá exigir do trator aumenta ainda mais.

**Tabela 33 - Resumo da análise de variância para potência média na barra de tração (W)**

| FV                         | GL      | SQ          | QM         | Fc    | Pr>Fc   |
|----------------------------|---------|-------------|------------|-------|---------|
| Modelo de haste            | 2       | 371812833   | 185906416  | 89    | 0,000** |
| erro 1                     | 12      | 25051998    | 2087666    |       |         |
| Velocidade                 | 4       | 18619719050 | 4654929760 | 11326 | 0,000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8       | 115568337   | 14446042   | 35    | 0,000** |
| erro 2                     | 1533    | 630048464   | 410990     |       |         |
| Total corrigido            | 1559    | 19762200680 |            |       |         |
| CV 1                       | 17,51%  |             |            |       |         |
| CV 2                       | 7,77%   |             |            |       |         |
| Média geral                | 8249,89 |             |            |       |         |
| Número de observações      | 1560    |             |            |       |         |

ns: não significativo \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 34 - Desdobramento da análise de variância - potência média na barra de tração (W)**

| Modelo de Haste | Velocidade (km h <sup>-1</sup> ) |    |        |    |        |    |        |    |        |    |
|-----------------|----------------------------------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
|                 | 4                                |    | 6      |    | 8      |    | 10     |    | 12     |    |
| H1              | 4,331                            | Aa | 6,799  | Ba | 9,090  | Ca | 11,014 | Da | 13,534 | Ea |
| H2              | 4,464                            | Aa | 7,297  | Bb | 9,572  | Cb | 12,080 | Db | 14,510 | Eb |
| H3              | 4,974                            | Ab | 7,586  | Bc | 10,484 | Cc | 12,939 | Dc | 16,015 | Ec |
| DMS             | 222,17                           |    | 272,10 |    | 314,19 |    | 356,26 |    | 384,80 |    |

DMS: 261,99 refere-se ao modelo de haste em função das velocidades, letras maiúsculas se referem as linhas e letras minúsculas as colunas

Através da análise dos dados da tabela 33 para potência média na barra de tração, nos traz estatisticamente a interação significativa entre os dois fatores analisados no ensaio. Essa interação é determinada de modo que em prática é fácil de observar, pois quanto maior a velocidade de operação também será maior a força a ser feita para suprir a demanda de força vinda da semeadora-adubadora.

Nos resultados da Tabela 34, a velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> em todos os modelos utilizados no ensaio, foi a que menor exige potência do trator, isso resulta ao final da operação uma economia em gasto de combustível.

Se nos pegarmos a velocidade que se utiliza na operação de semeadura de 6 e 8 km h<sup>-1</sup>, apresentam um consumo de potência intermediário as demais velocidades, em uma outra análise a ser feita podemos dizer que na média o consumo da potência entre a velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> e 6 km h<sup>-1</sup> há um incremento de 63,50%.

**Tabela 35 - Resumo da análise de variância para potência máxima na barra de tração (W)**

| FV                         | GL       | SQ         | QM        | Fc     | Pr>Fc   |
|----------------------------|----------|------------|-----------|--------|---------|
| Modelo de haste            | 2        | 27618621   | 13809310  | 45,20  | 0,000** |
| erro 1                     | 12       | 3666172    | 305514    |        |         |
| Velocidade                 | 4        | 995943953  | 248985988 | 491,83 | 0,000** |
| Modelo de haste*Velocidade | 8        | 5287922    | 660990    | 1,30   | 0,26ns  |
| erro 2                     | 48       | 24299259   | 506234    |        |         |
| Total corrigido            | 74       | 1056815929 |           |        |         |
| CV 1                       | 5,42%    |            |           |        |         |
| CV 2                       | 6,97%    |            |           |        |         |
| Média geral                | 10203,63 |            |           |        |         |
| Número de observações      | 75       |            |           |        |         |

ns: não significativo \*\* significativo em análise Tukey 95%

**Tabela 36 - Análise Tukey das médias em função do modelo de haste - potência máxima na barra de tração (kW)**

| Modelo de Haste | Médias (W) |
|-----------------|------------|
| H1              | 9434 a     |
| H2              | 10258 b    |
| H3              | 10918 c    |
| DMS             | 417,29     |

**Tabela 37 - Análise Tukey das médias em função da velocidade (km h<sup>-1</sup>) - potência máxima na barra de tração (kW)**

| Velocidades (km h <sup>-1</sup> ) | Médias (W) |
|-----------------------------------|------------|
| 4                                 | 4957 a     |
| 6                                 | 7773 b     |
| 8                                 | 10288 c    |
| 10                                | 12559 d    |
| 12                                | 15439 e    |
| DMS                               | 736,54     |

Ao observar Tabela 35 que traz a potência máxima na barra de tração, a qual analisa os picos de forças provenientes das repetições do ensaio, é possível identificar a significância estatística dos dois fatores analisados, mas não a sua interação.

Na Tabela 36 para a análise do modelo de haste, fica claro que a haste H1 traz uma demanda de potência máxima menor do que as demais, tomando como comparativo o modelo H3, ela traz uma demanda 13,59% menor, para o modelo H2 na média de 8,03%, isso é característico da construção da haste H1 como dito anteriormente em outros tópicos.

## 5 CONCLUSÃO

Através dos dados obtidos pelo ensaio proposto, é possível concluir que para o fator de descompactação, ou seja, a resistência do solo a penetração mecânica o melhor modelo para este quesito foi o H3 em velocidade de  $10 \text{ km h}^{-1}$ .

Para todos os outros fatores analisados, como força média e máxima na barra de tração, força por área de solo revolvido, força média e máxima horizontal específica e potência média e máxima; o modelo de haste que teve seu melhor desempenho foi o H1 na velocidade de  $4 \text{ km h}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

- Abreu, S. L.; Reichert, J. M.; Reinert D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.519-531, 2004.
- AIKINS, K. A. *et al.* No-tillage furrow opener performance: A review of tool geometry, settings and interactions with soil and crop residue. **Soil Research, Melbourne**, v. 58, n. 7, p. 603–621, 2020.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 677 – 687, 2009.
- ARAÚJO, A.G. *et al.* Identificação das restrições para expansão do plantio direto na região da represa de Itaipu. In: **Encontro latino americano sobre plantio direto na pequena propriedade**, 3., 1998, Pato Branco. Anais... Pato Branco: Instituto Agrônômico do Paraná, 1998.
- ARAÚJO, A.G., CASÃO JÚNIOR, R., SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto: problemas e soluções. IAPAR, **Informe da Pesquisa**, Londrina, n.137, 1-18 p, 2001.
- ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2011. Agricultural machinery management data. **ASABE**, Saint Joseph, Michigan, USA. 9 p.
- ASAE – American Society of Agricultural Engineers (1999) Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards 1999: Standards engineering practices data**. Saint Joseph, ASAE. p.359 366.
- BAI, X.; ZHANG, Z. Experimental study on stubble-cutting coulters of corn no-tillage seeder. In: **Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)**. IEEE, 2011. p. 2004-2007.
- BERTOLLO, A. M.; KOPPE, E.; KASPARY, T.; BONNA, S. D.; SILVA, V. Variabilidade espacial e temporal da resistência à penetração em diferentes umidades de um Latossolo Vermelho. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2102-2110, 2013.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.849-856, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em latossolos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.2, p. 191-199, maio 2002.

BONINI, A. K.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D.; SOUZA, R. F.; TAVARES, C.  
**Atributos físicos e requerimento de potência de uma semeadora-adubadora em um Latossolo sob estados de compactação.** Engenharia Agrícola, v. 28, n. 1, p. 136- 144, 2008.

BORDIGNON, J. **Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras.** 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.

BRANQUINHO, K.B.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.C.; BORSATTO, E.A. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.2, p.374-380, 2004.

BROWN, A.D.; DEXTER, A.R.; CHAMEN, W.C.T.; SPOOR, G. Effect of soil macroporosity and aggregate size on seed-soil contact. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, n.3, p.203-216, 1996.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; FATIMA GUIMARÃES, M. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: A model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1013-1019, 2008.

CASAGRANDE, A. L.; SANTIN, G. A.; TOMAZELI, L. H.; TOMAZELI, M. H.; AMARAL, A. S.; TEIXEIRA, A. J.; ROCHA, P. S. G. Avaliação da distribuição de sementes de milho e soja com semeadora a vácuo e convencional. **Mostra Científica Integrada das Ciências Agrárias da URI**. – Erechim, RS, 2021. ISBN 978-65-88528-12-9.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora MAGNUM 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.523-532, 2000.

Cassol, E. A.; Denardin, J. E.; Kochhann, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.333-370, 2007.

Ceretta, C. A.; Basso, C. J.; Flecha, A. M. T; Pavinato, P. S.; Vieira, F. C. B.; Mai, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.163-171, 2002.

Cogo, N. P.; Portela, J. C.; Amaral, A. J.; Trein, C. R.; Gilles, L.; Bagatini T.; Chagas, J. P. Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 31, 2

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, v. 10, **Safra 2022/23, n. 7 - sétimo levantamento**, Brasília, 107p, abril/2023. Disponível em: Acesso em: 03 de maio de 2023.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. **Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.2, p.502-510, 2006.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. **Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.2, p.502-510, 2006.

CRUZ, J. C. *et al.* **Avaliação de sistemas de produção de milho na região de Sete Lagoas**, MG. Circular Técnica, Sete Lagoas, n. 123, p. 1-6, 2009.

CTIC - Conservation Technology Information Center. What's conservation tillage? Core4 Information Fact Sheet. West Lafayette, In: **Conservation Technology Information Center** 2p. 2010.

DAMBRÓS, R.M. **Avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras de milho com diferentes mecanismos dosadores**. 1998. 86 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

DELAFOSSÉ, R.M. **Máquinas semeadoras de grano grueso**. Santiago: FAO, 1986. 48 p.

Denardin, J. E.; Kochhann, R. A.; Faganello, A.; Sattler, A.; Manhago, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.32, p.2847-2852, 2008.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná**, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo no conservacionismo do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

DIAS, O.V.; ALONÇO, A.S.; BAUMHARDT, U.B.; BONOTTO, J.G. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura.

**Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1.721-1.728, 2009.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; VEIT, A. A.; SILVA, W. P. **Força de tração e potência demandada por mecanismos de corte e sulcadores de semeadora-adubadora**. Energia na Agricultura, v. 31, n. 1, p. 17-23, 2016.

Franchini, J. C.; Hoffmann-Campo, C. B.; Torres, E.; Miyazawa, M.; Pavan, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.34, p.2045-2058, 2003.

FREITAS, P.L., LANDERS, J.N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. Int. **Soil Water Conserv. Res.** 2, 35–46, 2014.

Furlani CEA, Silva RP & Lopes A (2005) Avaliação de semeadora adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. Engenharia Agrícola, 25:458-464.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; ABRAHÃO, F.Z.; LEITE, M.A.S. **Características da cultura do milho (Zea mays L.) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.2, p.177-86, 1999.

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.

Genro Júnior, S. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.477-484, 2004.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. Soil failure with narrow tines failure. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 22, p. 213-218, 1978.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.223-227, fev 2002.

HENNING, Ademir A., *et al.* **Manejo do solo**. Embrapa Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao->

tecnologica/cultivos/soja/producao/manejodo-solo. Acesso em: 10 out. 2023.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantina*, Campinas, v.48, n.2, p.249-262, 1989.

LAMBRECHT, E., Ferreira, M. F., Medeiros, F. A., & Reis, Â. V. (2017). Semeadoras adubadoras da atualidade e sua compatibilidade com tratores de baixa potência. **Revista Thema**, 14(2), p. 274-285.

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

LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J.; JESUINO, P. R. Performance of agricultural tractor on three different soil surfaces and four forward speeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 333-339, 2010.

LANDERS, J.N. Fascículo de experiência de plantio direto no cerrado. **Goiânia: Associação do Plantio Direto no Cerrado**, 1995, 261 p.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais. 2a. ed. Pelotas, R.S.: **Ed. Universitária UFPel**, 1996. v. 1p. 253.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 13, p. 52-55, 1987.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I.; FRAGA, T. I.; LEITE, J. G. D. B. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 571-579, 2007.

MARQUES FILHO, A. C.; VENTURA, H. C. Can sowing speed affect corn yield? **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, v. 8, n. 3, p. e6486-e6486, 2021.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. Madrid: B&H, 2004. 700 p.

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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

MELLO, L.M.M.; TAKAHASHI, C.M.; YANO, E.H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

MIALHE, L. G. MÁQUINAS MOTORAS NA AGRICULTURA V. 2.2. **EPU: EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**, P. 140-221, 1980.

MION, R. L.; NERY, M.S., CARVALHO, W.P.A.; RUIZ, E.R.; FAGGION, F.; GROSSI, C.H.; MARQUES, J.P.; MAHL, D.; SILVA, A.R.B.; BENEZ, S.H. Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 31.; 2002, Salvador.

MODOLO, A.J. **Demanda energética de uma semeadora-adubadora com diferentes unidades de semeadura**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

NABI, G.; MULLINS, C.E.; MONTEMAYOR, M.B.; AKHTAR, M.S. Germination and emergence of irrigate cotton in Pakistan in relation to sowing depth and physical properties of the seedbed. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.59, n.2, p.33-44, 2000.

NAVID, H.; EBRAHIMIAN, S.; GASSEMZADEH, H.R.; MOUSAVI NIA, M.J. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. **Australian Journal of Agricultural Engineering**, Lismore, v.2, n.1, p.01-04, 2011.

NUNES, M. R. *et al.* Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 627–638, 2014.

PHILLIPS, R.E.; KIRKHAN, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.26, n.4, p.319-322, 1962.

PORTELLA, J. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. Máquinas e implementos para plantio direto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo, 1993. p. 29-36.

PORTELLA, J.A. Plantio de precisão: o desafio para o século XXI. **Comunicado Técnico**, 25. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 2p.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação: uma preocupação pertinente. **A Granja**, Porto Alegre, v.646, p.55-57, 2002.

REIS, A.V.; ALONÇO, A.S. Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

REIS, E.F.; MOURA, J.R.; DELMOND, J.G.; CUNHA, J.P.A.R. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Habana, v.16, n.3, p.70-75, 2007.

ROS, V.V.; SOUZA, C.M.A.; VITORINO, A.C.T.; RAFULL, L.Z.L. **Oxisol resistance to penetration in no-till system after sowing**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1104-1114, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000600008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/gWNddP5dQ3xyk4DPKGRYH8H/?lang=en#>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ROSOLEM, C.A. *et al.* Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SANTOS, A.J.M; GAMERO, C.A; OLIVEIRA, R.B; VILLEN, A.C.; Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v.27, n.1, p.16-23, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7355/6836>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SANTOS, V. C.; Santos, P. R. A.; Lima, I. O.; Pereira, V. R. F.; Gonçalves, F. R. F., & Chioderoli, C. A. Performance of a seeder according to the displacement velocity and furrowing mechanism of fertilizer deposition. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2021, p.286-291.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismo de ação. In: Silva AA & Silva JF (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, UFV. p.83-148, 2007.

SILVA, A. G.; HORVATHY NETO, A.; TEIXEIRA, I. R.; COSTA, K. A. P.; BRACCINI, A. L. Seleção de cultivares de sorgo e braquiária em consórcio para produção de grãos e palhada. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 2951-2964, 2015.

SILVA, V. R.; REICHERT J. M.; REINERT D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 399-406, mar./abr. 2004.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F.; SILVA, J.G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2, p.257-263, 2001.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, AG; CASÃO JUNIOR, R; RALISCH, R. Desempenho energético de semeadoras adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 30., 2001, Foz do Iguaçu.

SOUZA, C.A.A.; RAFULL, L.Z.L.; ARCOVERDE, S.N.S.; BOTTEGA, E.L.; ORLANDO, R.C. Desempenho de semeadora-adubadora de milho de segunda safra em semeadura direta. **Revista Agraria**, v.12, n.45, p.346-353, 2019.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 159p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581. 1998.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

Unger, P. W.; Kaspar, T. C. Soil compaction and root growth: A review. **Agronomy Journal**, v.86, p.759-766, 1994.