



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA**

JEAN LUCAS PEREIRA OLIVEIRA

**DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE
ESCARIFICAÇÃO, EM FUNÇÃO DA MARCHA DE TRABALHO, TIPO DE
PONTEIRA E ESPAÇAMENTO ENTRE HASTES**

FORTALEZA

2018

JEAN LUCAS PEREIRA OLIVEIRA

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE
ESCARIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DA MARCHA DE TRABALHO, TIPO DE PONTEIRA
E ESPAÇAMENTO ENTRE HASTES

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Agronomia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título Bacharel em Agronomia.
Área de concentração: Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida
Monteiro.

Coorientadora: Msc. Elivânia Maria Sousa
Nascimento

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O47d Oliveira, Jean Lucas Pereira.
Desempenho energético de um trator 4x2 TDA em operação de escarificação, em função da marcha de trabalho, tipo de ponteira e espaçamento entre hastes / Jean Lucas Pereira Oliveira. – 2018.
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientação: Profa. Ma. Elivânia Maria Sousa Nascimento.
1. Preparo do solo. 2. Consumo de combustível. 3. Argissolo. I. Título.
- CDD 630
-

JEAN LUCAS PEREIRA OLIVEIRA

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM TRATOR 4X2 TDA EM OPERAÇÃO DE
ESCARIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DA MARCHA DE TRABALHO, TIPO DE PONTEIRA
E ESPAÇAMENTO ENTRE HASTES

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Agronomia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.
Área de concentração: Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 18/06/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Elivânia Maria Sousa Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Marcelo Queiroz Amorim
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Leonardo Lenin Marques de Brito
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Regina e De Assis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, força e ensinamentos para seguir esse árduo caminho.

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de realização deste curso. Ao Centro de Ciências Agrárias por estar à frente de um curso com tantas conquistas como o de Agronomia.

Aos meus pais, Regina Lúcia e De Assis Oliveira, que sempre me apoiaram e me deram todas as condições, mesmo não sabendo ao certo o que, para realização de quaisquer atividades. Não tenho palavras para descrever vocês.

Aos meus irmãos Michelle Oliveira, Guilherme Oliveira e Geovana Oliveira, pela paciência e toda a ajuda necessária. Aos meus tios Vicente Oliveira, Nair e Pereira, minha avó Aldenora Freire, meu eterno agradecimento.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela excelente orientação, conselhos, sabedoria e exemplo profissional.

Aos integrantes do LIMA: Isabela Lima, Walisson Silveira, Márcio Porfírio, Wilson Sousa, Luis Gonzaga, Marcelo Queiroz, Maiara, Mayara, Leonardo Lenin, Fidel Lucas, Aline Castro pela ajuda na realização desse trabalho em campo.

Aos integrantes do NIMPA Elivânia Sousa, Paulo Santos e Roberto Maia pelas contribuições na realização do trabalho e aquisição de instrumentos. Prof. Carlos Chioderoli levarei para vida pessoal e profissional sua forma de trabalho, te agradeço muito por todos os momentos em trabalho e amizade.

A minha coorientadora, ombro amigo, meu processador: Elivânia Sousa. Obrigado pela paciência, pelo companheirismo, amizade que, certeza, serei sempre grato e agradeço a Deus por tê-la próximo.

A AGRONÔMICA – Consultoria e Projetos Agropecuários por tantos bons momentos na vida profissional e pessoal, em especial aos amigos Sara, Eliete Reis, Lucas Aguiar, Adriana, Isabelle, Albertina Reis, Ramon, Gina, Nascimento.

Aos amigos operadores de máquinas do LIMA: De Leon, Sandoval, Joel (Bola), agradeço a força e diversão em todos os momentos, mesmo os não fáceis.

Aos amigos do NEEF e Fazenda Experimental Vale do Curú, que, de sol a sol, sempre estavam disponíveis aos trabalhos: Sr Airton, Sr De Assis, Sr Vanderlei, Marina Pantaleão, Leane Veras, Dhones, Suyanne.

Aos motoristas de ônibus da Prefeitura de Pacajus por sempre estarem disponíveis e preocupados nas inúmeras idas e vindas até a Universidade: Francisco (Chicão), Chiquinho

da Ambulância e Sr João. Aos motoristas do CCA por terem nos guiado por vários estados e cidades do país: Sr Airton, Sr Luis, Barbosinha. Nossas viagens tiveram histórias!

Aos amigos e colegas que fiz durante todo o período de curso, sem citá-los: meu muito obrigado.

À UNESP – Jaboticabal, por ter me proporcionado experiência inigualável de estágio. Agradeço a recepção Prof. Dr. Eduardo Furlani, Edcarla Nicolau, Nivanda Estevam e Renata Queiroz, além dos mais próximos do LAMMA: Elizabeth Kazama, Adão Felipe, Lígia Negri, Francieli Morlin e Aline Spaggiari.

“ Em cada grande conquista, há uma porção de fé ainda maior ”

Autor desconhecido

RESUMO

Operações de preparo de solo demandam grande esforço tratório das máquinas, sendo observado maior consumo de combustível e patinamento dos rodados, na medida em que se variam as condições de solo. Neste contexto e visando operações de escarificação mais eficiente, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho energético de um conjunto mecanizado em função da velocidade, ponteira e espaçamento entre hastes. Os ensaios foram conduzidos em área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA) pertencente à Universidade Federal do Ceará, *campus* do Pici, Fortaleza/CE. Para o preparo do solo utilizou-se um conjunto trator-escarificador. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo, duas marchas de trabalho (M1 – 3,0 km h⁻¹ a 2.000 rpm; M2 – 6,0 km h⁻¹ a 2.200 rpm), duas ponteiras (P1 – alada; P2 – estreita) e três espaçamento entre hastes (E1 -0,30 m; E2 – 0,40 m; E3 – 0,50 m). o desempenho energético foi avaliado por meio da patinagem dos rodados, consumo horário e específico de combustível, velocidade, força, potência, área mobilizada, área de elevação, empolamento do solo e resistência específica por área. Os dados foram submetidos a estatística descritiva, por meio do coeficiente de simetria e curtose foi determinada a normalidade dos dados. Após verificação da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância e quando significativos aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias. As variáveis patinamento dos rodados dianteiros e traseiros, consumo específico de combustível foram influenciadas pela marcha e espaçamento entre hastes. No entanto, só foi observada interação dupla entre o tipo de ponteira e o espaçamento para o fator patinamento. A velocidade de trabalho foi afetada pela interação dupla entre o tipo de ponteira e o espaçamento. A força e a potência na barra de tração foram influenciadas pela marcha e tipo de ponteira. A área mobilizada e a resistência específica por área mobilizada apresentaram diferenças estatísticas entre as marchas. Concluiu-se que o consumo horário e específico de combustível foram influenciadas pela marcha e espaçamento entre hastes. A força média e a potência na barra de tração foram influenciadas pela marcha e tipo de ponteira. A área mobilizada e o empolamento do solo também sofreram influência desses fatores.

Palavras chave: Preparo do solo. Consumo de combustível. Argissolo.

ABSTRACT

Soil preparation operations require greater attention to the machines, with greater fuel consumption and wheel spin, as they are variable in soil conditions. This context and metric operations of scarified higher efficient, aiming the collection survey with the performance of energetic model in the time of speeded, in front of speed, in time between speed and interval between stems. The work was carried out in an experimental area of the Agricultural Machinery Accident Investigation Laboratory (LIMA) belonging to the Federal University of Ceará, Pici campus, Fortaleza, CE. To prepare the soil, use a tractor-scarified set. The experimental design was in a completely randomized block design, with a 2 x 2 x 3 factorial scheme, two working gears (M1 – 3,0 km h⁻¹ at 2000 rpm, M2 – 6,0 km h⁻¹ at 2,200 rpm), two P1 - winged, P2 - narrow) and three spaces between stems (E1 - 0,30 m; E2 - 0,40 m; E3 - 0,50 m). Energy performance was evaluated by means of slippage, fuel hourly and specific consumption, speed, force, power, mobile area, elevation area, soil blistering and specific resistance by area. The data were submitted to a descriptive statistic, by means of the coefficient of symmetry and kurtosis for the normality of the data. Verification of normality, date and time of analysis of variance at the significance level of 5% and when we apply the Tukey test to 5% probability of comparison of means. The variables of the front and rear wheels were defined as being evaluated for gait and space between the stems. However, the difference between the tip type and the spacing for the slippage The speed of work was affected by the interaction between the tip type and the spacing. The force and the power in the bar were influenced by the gait and type of tip. The area mobilized and the specific resistance per area is mobilized by the work between the gears. He concluded that the hourly and specific consumption were influenced by gait and spindle spacing. The average force and the bar power were influenced by the gait and type of tip. The mobilized area and the pumping of the soil also suffered the reflections of the factors.

Keywords: Soil preparation. Fuel consumption. Ultisol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área experimental.....	29
Figura 2 – Trator utilizado no experimento.....	30
Figura 3 – Escarificador utilizado no experimento.....	31
Figura 4 – Ponteiras do escarificador	
Figura 5 – Sensores de rotação tipo enconder instalados nos rodados dianteiros e traseiros.....	32
Figura 6 – Célula de carga.....	32
Figura 7 – Fluxômetros instalados no trator e sistema contador de pulso.....	33
Figura 8 – Sistema de aquisição de dados.....	33
Figura 9 – Perfilômetro (A) e penetrômetro (B).....	34
Figura 10 – Croqui da área experimental.....	35
Figura 11 – Levantamento do perfil da superfície natural e de fundo, após passada do conjunto.....	38
Figura 12 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da ponteira para o patinamento dos rodados traseiro do trator (PRT)...	42
Figura 13 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B) para o patinamento dos rodados dianteiro do trator (PRD).....	43
Figura 14 – Desdobramento da marcha dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para o consumo horário de combustível.....	44
Figura 15 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a velocidade de deslocamento (V).....	45
Figura 16 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a área mobilizada (AM).....	48
Figura 17 – Desdobramento da marcha dentro da ponteira (A) e da ponteira dentro da marcha (B) para a área de elevação (AE).....	49

Figura 18 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a área de elevação (AE).....	50
Figura 19 – Desdobramento da ponteira dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B) para o empolamento do solo (E).....	50
Figura 20 – Desdobramento da ponteira dentro do espaçamento (A) e da marcha dentro do espaçamento (B) para o empolamento do solo (E).....	51
Figura 21. Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e espaçamento dentro da marcha (B) para a resistência específica do solo por área (R).....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização física do solo da área experimental.....	30
Tabela 2 – Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para patinamento das rodas dianteiras (PRD) e traseiras (PRT) do trator, consumo horário de combustível (CH), consumo específico (Cesp), velocidade (V), força na barra de tração (F) e potência (P) na operação de escarificação.....	40
Tabela 3 – Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para umidade do solo na profundidade 1 (US1), umidade do solo na profundidade 2 (US2), resistência mecânica do solo à penetração na profundidade 1 (RP1) e resistência mecânica do solo à penetração, respectivamente, nas profundidades 0,00-0,15 (1) e 0,15-0,30 m (2).....	46
Tabela 4 - Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para Área mobilizada (AM), Área de elevação (AE), Empolamento (E) e Resistência específica (RE) na operação de escarificação.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAE American Society of Agricultural Engineers

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Preparo do solo.....	19
3.2	Escarificador	20
3.3	Desempenho energético em operações mecanizadas.....	24
3.4	Compactação de solo	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Material	28
4.1.1	Localização do experimento.....	28
4.1.2	Caracterização física do solo.....	28
4.1.3	Máquinas e equipamentos	29
4.2	Métodos	33
4.2.1	Delineamento experimental.....	32
4.2.2	Avaliações	32
<i>4.2.2.1</i>	<i>Resistência do solo a penetração.....</i>	<i>33</i>
<i>4.2.2.2</i>	<i>Umidade do solo</i>	<i>33</i>
<i>4.2.2.3</i>	<i>Patinação dos rodados do trator</i>	<i>33</i>
<i>4.2.2.4</i>	<i>Consumo horário e específico de combustível.....</i>	<i>34</i>
<i>4.2.2.5</i>	<i>Velocidade de deslocamento.....</i>	<i>34</i>
<i>4.2.2.6</i>	<i>Força de tração média na barra.....</i>	<i>35</i>
<i>4.2.2.7</i>	<i>Potência média na barra.....</i>	<i>35</i>
<i>4.2.2.8</i>	<i>Área mobilizada e área de elevação.....</i>	<i>37</i>
4.2.3	Análise estatística dos dados	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE	60

1 INTRODUÇÃO

O uso de máquinas agrícolas sem critério pode causar grandes prejuízos, como a desestruturação dos solos, acarretando uma série de mudanças indesejáveis nas suas propriedades físicas, evidenciadas pela compactação, principalmente, quando o preparo do solo é realizado em condições de umidade inadequada.

O escarificador é um implemento agrícola que se apresenta, neste cenário, como opção para o agricultor, dentro da ótica do manejo conservacionista; a vantagem de mobiliza o solo sem revolvê-lo, além de conseguir romper camadas compactadas do solo e atingir profundidades de trabalho maiores, quando comparado com outros implementos de preparo primário.

Ainda se conhece pouco da dinâmica dos escarificadores em solos do semiárido nordestino, principalmente no que se refere às interações do solo-implemento, principalmente, observando alguns pontos bastante importantes que devem ser levados em consideração nas condições do solo a ser trabalhado, como: resistência específica do solo à ação da haste escarificadora, área mobilizada pelo implemento e eficiência no processo de mobilização do solo.

A operação de escarificação é utilizada para romper camadas subsuperficiais compactadas. O rompimento dessas camadas compactadas proporciona a redução da resistência à penetração, o aumento da infiltração de água, a difusão do oxigênio e a melhoria da condutividade hidráulica. A melhoria na estrutura do solo pode também aumentar a umidade e a disponibilidade de nutrientes, o que favorece o aumento da produtividade das culturas.

Dentre as operações no sistema de cultivo, o sistema de preparo do solo convencional, ou periódico, é utilizado em larga escala no Brasil, e alguns implementos apresentam capacidade operacional melhor do que outros. As operações de preparo do solo, como a escarificação, criam um microrrelevo na superfície do solo, sendo o índice de rugosidade superficial do mesmo o critério mais utilizado para a sua determinação.

A descompactação do solo utilizando implementos de hastes, a exemplo escarificadores, que produzem superfícies mais rugosas, que os implementos de discos, como grades pesadas, tem por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas.

A operação tem sido muito questionada pelos agricultores, devido ao seu elevado custo financeiro e às incertezas da duração de seus efeitos benéficos. Tem-se sugerido a

inversão da tradicional sequência operacional de escarificação seguida de preparo periódico, uma vez que essas operações mobilizam previamente parte do perfil do solo a ser rompido pelas hastes escarificadoras, reduzindo, dessa forma, a ação das ferramentas, além de reduzir ou dispensar o tráfego da maquinaria para o preparo logo após a operação de escarificação.

Neste sentido, a pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o desempenho energético do conjunto mecanizado trator-escarificador, em função da marcha de trabalho, tipo de ponteira e espaçamento entre hastes.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o desempenho energético de um trator 4x2 TDA em operação de escarificação em função da marcha de trabalho, tipo de ponteira e espaçamento entre hastes.

Como objetivos específicos, tem-se, avaliar:

- Patinamento dos rodados dianteiros e traseiros do trator,
- Consumo horário e específico de combustível,
- Velocidade de deslocamento,
- Força na barra,
- Potência na barra,
- Área mobilizada,
- Área de elevação
- Empolamento do solo e
- Resistência específica por área.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Preparo do solo

O preparo do solo tem como finalidade proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento adequado das culturas tornando-se atividade mecanizada que envolve fatores físicos, químicos e biológicos do solo como forma de otimizar as condições de germinação e emergência de plântulas, assim como o seu estabelecimento (FURLANI *et al.*, 2005).

Os sistemas de preparo do solo causam modificação na estrutura física do solo quando o mesmo é exposto ao preparo intensivo (CARVALHO *et al.*, 2012), ocasionando aumento na densidade e alterações de porosidade, retenção de água, aeração e a resistência do solo à penetração de raízes (MONTANARI *et al.*, 2012). Tais alterações promovem perdas na taxa de crescimento e na expansão de área foliar, devido às condições adversas de formação do sistema radicular (BERGAMASCHI *et al.*, 2010).

Os métodos de preparo podem variar desde aqueles que causam intensa mobilização do solo, como o preparo convencional, até aos chamados preparos conservacionistas. Segundo ASAE (1997), existem diversos sistemas de preparo do solo, os quais são enquadrados em categorias definidas como: a) convencional, que é a combinação de duas ou mais operações; b) reduzido, uma única operação, e; c) semeadura direta, ou seja, a semeadura em solo não preparado.

Segundo Derpsch *et al.* (1991), o sistema de preparo convencional se inicia pelo preparo primário do solo, sendo esse preparo realizado por uma aração e em seguida, duas gradagens para quebra de torrões e nivelamento da área trabalhada.

O uso frequente do preparo primário poderá levar a desestruturação da superfície do solo, tornando-os mais suscetíveis à erosão, formação de locais com impedimento mecânico abaixo das camadas movimentadas pelo equipamento de preparo, tais fatos que podem interferir diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das culturas, trazendo sérios riscos a produção e produtividade (BAUDER *et al.*, 1981).

ASAE (1982) e Dallmeyer (1994) descrevem que o preparo reduzido do solo é aquele onde são proporcionados menores números de operações que o preparo convencional, resultando na manutenção do aporte de cobertura do solo, menor inversão do solo, menor custo com operações de preparo e redução das perdas de solo e nutrientes por erosão.

Grohmann; Arruda (1961) e Buhler (1995) também consideram que o preparo do solo que ocorre com menor mobilização buscando a preservação da sua estrutura, que mantém a cobertura morta de resíduos culturais entre os períodos compreendidos entre a colheita anterior e a implantação da cultura seguinte; preparo conservacionista. Assim, pode-se afirmar que o preparo reduzido e o processo de sementeira direta são ditos preparo conservacionistas.

Na avaliação e quantificação dos perfis mobilizados de solo, Daniel e Maretti (1990), reportam dois fenômenos decorrentes da operação de preparo periódico: o deslocamento vertical do perfil do solo e a sua área mobilizada. Os autores afirmam que os levantamentos devem ser realizados em três perfis: superfície natural, superfície de elevação e o perfil interno do solo mobilizado.

3.2 Escarificador

Para Carvalho Filho *et al.* (2007), existem equipamentos adequados a cada operação agrícola e condições de solo. O autor aborda que o solo deve ser preparado com mínima mobilização, sem prejudicar a profundidade da operação, a fim de diminuir o número de operações de preparo, mantendo os resíduos culturais na superfície.

Observa-se, entretanto, que a maior parte dos equipamentos utilizados na mobilização do solo não atende a algumas dessas condições tidas como ideais. Em função do trabalho mecânico, podem ocorrer alterações nos atributos do solo, e estas alterações podem ser mais expressivas nos atributos físicos da camada mais superficial, principalmente em virtude do tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições inadequadas de manejo (VALICHESKI *et al.*, 2012).

Para Machado *et al.* (2005), destaca a técnica potencial para solucionar o problema de compactação dos solos, a operação de escarificação, que consiste em mobilizar o solo a determinada profundidade, até trinta centímetros, tendo uma mobilização superficial mínima e mantendo a cobertura do solo. Por não provocar inversão de camadas do solo, esta operação proporciona menor desagregação sendo que os resíduos vegetais ficam depositados na superfície do solo facilitando, assim, o controle da erosão, melhorando potencialmente a infiltração e a retenção de água, tal como a estrutura e a porosidade do solo, quando comparada aos preparos do solo convencionais. Esses mesmos autores, ao mencionar a parte ativa do escarificador (as ponteiros) a divide em dois tipos, estreita, com largura de 4 a 8 cm e larga ou alada, com dimensões acima destas.

Nicoloso *et al.* (2008) apontam a operação de escarificação mecânica do solo como alternativa bastante eficiente para melhorar as condições físicas de um Latossolo de textura muito argilosa. Buscando mais eficiência nas operações, Godwin (2007) retrata a que a busca pela redução da demanda tratorial de um implemento não deve ser o foco principal de pesquisa, mas que deve-se buscar reduzir a resistência específica operacional, que é expressa pela relação da força de tração com a área de solo mobilizada.

O escarificador é um implemento que prepara o solo sem revolvê-lo. Possui hastes que trabalham em profundidades maiores que outros implementos, demandam 40 a 50% e 30 a 40% menos força de tração para uma mesma largura de trabalho e volume de solo mobilizado, respectivamente, em relação a um arado (ORTIZ-CAÑAVATE, 1995).

O escarificador é um equipamento, que atua até a profundidade de 0,30 metros, usando para o preparo periódico, cuja função é promover um mínimo de mobilização, desagregando menos o solo, no sentido de baixo para cima. Não forma camada compactada no subsolo, e isto pode representar maior armazenamento de água, menor risco para as culturas de sequeiro e também a possibilidade de redução da frequência de irrigação. Além disso, não enterra a maior parte dos resíduos vegetais que, mantidos na superfície, protege o solo da erosão, o que permite enquadrá-lo como equipamento de sistema conservacionista (GADANHA JÚNIOR *et al.*, 1991; SILVEIRA, 1989).

Martuchi (1987) divide em escarificação leve (5-15 cm), escarificação pesada (15-30 cm) e subsolagem (>30 cm), ou seja, diferenciando-os pela profundidade de atuação. Já a segunda teoria, ASAE (1982), argumenta que uma atividade realizada até 40 cm de profundidade é uma escarificação e uma atividade realizada além da profundidade de 40 cm é uma subsolagem. As duas teorias são aceitas, sendo os equipamentos, escarificador e subsolador, classificados em função da profundidade de atuação do implemento.

O escarificador utilizado no sistema de cultivo mínimo substitui a função do arado como preparo primário do solo. Ele desagrega menos o solo, já que ele atinge as zonas de fratura do solo e não inverte a leiva com o diferencial de descompactar camadas mais profundas do que o arado. O escarificador trabalhando na mesma profundidade que um arado de disco tem necessidade energética 60% inferior ao arado (MARTUCHI, 1985). Ele, quando comparado com os demais equipamentos agrícolas de preparo de solo, tem a menor exigência energética para funcionamento (SALVADOR *et al.*, 1995).

Há diversas vantagens numa escarificação bem conduzida, como: os benefícios econômicos (menor tempo com equipamento na área, economia com combustível, economia com tempo de mão de obra e menor número de equipamento a serem adquiridos) e

conservacionistas (menor desestruturação do solo, menor erosão, deixa matéria orgânica em superfície dentre outros). Apesar das vantagens ele não consegue substituir totalmente a função da grade e do arado, já que os dois últimos têm melhor desestruturação e, por consequência, uma maior área contato solo-semente.

Os escarificadores foram desenvolvidos para trabalharem em sistemas conservacionistas de solo, ou seja, áreas que não possuem pedras e tocos, pois estes podem danificar o equipamento caso haja a insistência de trabalhar nessas condições. Na evolução de uma área, deve-se obedecer às seguintes fases: o preparo inicial (desmatamento, destocamento, desenraizamento, retirada de pedras e enleiramento), preparo convencional (preparo primário e secundário), portanto, se as atividades foram realizadas corretamente, no sistema de cultivo mínimo não se deve ter a presença de tocos ou pedras na propriedade.

Devido ao fato de que o escarificador foi desenvolvido para trabalhar em sistema de cultivo mínimo, e nesses sistemas deve-se ter pelo mesmo 30% de matéria orgânica na superfície, na operação há a problemática de embuchamento, ou seja, o material vegetal ficar aderido ao equipamento, dificultando a operação; para evitar esse problema, é necessário acoplar um disco de corte no equipamento.

Gadanha Junior *et al.* (1991) referem-se ao escarificador como um implemento que promove a desagregação do solo, recomendando sua utilização para o rompimento de camadas compactadas. Avaliando diferentes sistemas de manejo do solo em área de agricultura, Tormena *et al.* (2002) demonstraram que a escarificação do solo propiciou aumento na sua macroporosidade e porosidade total, bem como redução na resistência do solo à penetração.

Bordin *et al.* (2005) estudando o efeito da escarificação no sistema radicular e nos atributos físicos do solo em plantas cítricas, verificaram que a escarificação não alterou a quantidade de raízes, a densidade e a porosidade total do solo nas entrelinhas do pomar, independente da profundidade e a da posição em relação à planta. Mazurana *et al.* (2011) observaram, em seu estudo, que a mobilização promovida pela escarificação reduz a densidade do solo e resistência mecânica à penetração e aumenta a infiltração de água; no entanto, para justificar a operação é necessário que tais fatores estejam limitando o crescimento das raízes das plantas.

3.3 Compactação de solo

A compactação representa o aumento da massa ou redução do espaço poroso do solo, para um determinado volume de solo, o qual se relaciona com o histórico de cargas ou pressões exercidas na superfície (HAMZA; ANDERSON, 2005). Dessa forma, com incremento do processo de compactação do solo ocorre alteração no arranjo das partículas do solo, no volume, tamanho dos poros e na difusão de gases (TAYLOR, 1991; ALAOUI *et al.*, 2011), influenciando os fatores físicos do solo que afetam o crescimento das plantas.

O termo compactação do solo refere-se a processos mecânicos, induzidos pela ação antrópica, os quais modificam a estrutura do solo e alteram seus comportamentos físico, hídrico e mecânico. Trata-se, portanto, de uma alteração física induzida, com consequências sobre o comportamento da água e do ar no solo, o que afeta o desenvolvimento das raízes das plantas (KERTZMAN, 1996).

A resistência do solo a penetração é um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo, pois exerce elevada influência sobre o desenvolvimento das plantas. Uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor (FREDDI *et al.*, 2006).

O processo de compactação pode ocorrer de várias formas, sendo intensificado pelo tráfego de máquinas de peso cada vez mais elevado. Este aumento de peso das máquinas pode não ter sido proporcionalmente distribuído no tamanho e largura dos pneus, acarretando um aumento de pressão sobre o solo e modificando sua estrutura física (RICHART *et al.*, 2005).

De acordo com Carvalho Filho *et al.* (2007) quando se observa compactação deve-se utilizar sistema de manejo que consiga romper esta camada compactada e, ao mesmo tempo, mobilizando o mínimo possível a camada superficial, mantendo ao máximo de palha sobre a superfície do solo (CARVALHO FILHO *et al.*, 2007). Esta interferência no solo deverá ser executada por meio de escarificadores ou subsoladores, providos de discos de corte para à frente das hastes, para que a palhada sobre o solo não seja incorporada.

Silva e Benez (2005) apontam que uma forma de racionalizar a utilização de máquinas e implementos para descompactar superficialmente o solo em áreas de plantio direto é a utilização de mecanismos sulcadores, tipo hastes. A profundidade de trabalho das hastes sulcadoras permite quebrar a camada compactada superficial do solo, sendo a profundidade de trabalho abaixo da camada compactada (MELLO; TAKAHASHI, 2000).

Mello, Takahashi e Yano (2002), avaliando as condições físicas do solo submetido a mecanismos sulcadores de semeadoras e concluíram que a haste apresentou maior capacidade de romper o solo na linha da semeadura, provocando redução na densidade e resistência à penetração, aumento na macroporosidade do solo e da produtividade de grãos de milho, em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

Melhorias na qualidade de solos cultiváveis são observadas através da utilização de sistemas conservacionistas, a exemplo do sistema plantio direto e cultivo mínimo, também permitindo a expansão para novas áreas. Porém, fatores limitantes são decisivos para a obtenção do potencial máximo de produtividade nestas áreas, entre eles, destaca-se as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente a compactação, prejudicando a sustentabilidade do sistema plantio direto (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004).

É comum ocorrer a compactação do solo nas camadas superficiais em sistemas conservacionistas. Araújo *et al.* (2004), destacam que uma causa importante é o tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor de água no solo, ou mesmo por mobilizá-lo somente na linha de semeadura.

A gota de chuva é considerada uma fonte natural de compactação (RICHART *et al.*, 2005). Em solos expostos, quando ocorre uma precipitação intensa, a superfície do solo recebe a maior parte da energia cinética das gotas de chuva, resultando na quebra dos agregados e dando início ao processo de erosão. A desagregação do solo promove o carregamento de agregados e partículas menores em suspensão na água, que penetram e obstruem os poros causando o selamento superficial e, conseqüentemente, diminuem a taxa de infiltração de água no solo (SCHAEFER *et al.*, 2002).

Para o monitoramento da compactação do solo, o penetrômetro é um instrumento bastante utilizado, porém os resultados obtidos por meio dele devem ser inseridos em um contexto maior de avaliação da compactação, contemplando, além do uso correto do equipamento, o histórico do manejo da área, textura do solo, densidade global e umidade do solo (TORRES; SARAIVA, 1999). Esse fato aliado a adoção de práticas inadequadas de manejo, promoveu o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas características físicas e químicas (RICHARD *et al.*, 2005).

3.4 Desempenho energético em operações mecanizadas

O trator agrícola é uma máquina de tração que fornece potência aos implementos agrícolas (FRANTZ *et al.*, 2014). Na escolha do trator ideal para realizar as operações

agrícolas, podemos avaliar diversos itens, como potência, conforto, manobrabilidade, facilidade de manutenção e preço de aquisição, sendo que o conhecimento da eficiência energética do trator poderia ser mais um item a ser considerado em sua seleção (SILVEIRA; SIERRA, 2010).

O consumo de combustível por hectare é o principal indicador técnico de referência na avaliação da eficiência de utilização do trator agrícola, uma vez que demonstra o envolvimento das diversas variáveis que condicionam o rendimento global da transformação do combustível fornecido ao motor em trabalho útil realizado pelo implemento (SERRANO, 2007).

Kichler *et al.* (2007) afirma que, para selecionar sistemas de preparo periódico corretamente, deve-se considerar fators como a demanda energética e características do solo, a exemplo textura e umidade. Maior conhecimento e domínios desses parâmetros podem levar a redução dos custos de produção das culturas

A redução na demanda energética de máquinas agrícolas é obtida com a seleção adequada do sistema de preparo do solo e correta adequação do trator-implemento (MCLAUGHLIN *et al.*, 2008). Ao avaliar diferentes operações agrícolas mecanizadas, Fernandes *et al.* (2008) concluíram que os sistemas de preparo do solo com menor mobilização e menos operações por área, obtiveram menor consumo de combustível.

Salvador *et al.* (2008a), ao avaliarem a demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo realizado antes e depois da subsolagem, concluíram que o preparo do solo com escarificador obteve menor demanda energética quando esta operação foi realizada após a subsolagem, mas, para os sistemas de preparo periódico do solo que utilizaram arado de discos e grades, apresentou melhor eficiência energética quando realizado antes da subsolagem.

Ao avaliar requerimento energético em diferentes sistemas de preparo baseados em aração (discos e aivecas), gradagem (pesada e niveladora) e escarificação num Latossolo Vermelho Amarelo, Salvador *et al.* (1998) concluíram que a escarificação obteve menor demanda energética quando comparada aos demais sistemas de preparo estudados, fato relacionado ao número de atividades de preparo.

Abbaspour-Gilandeh (2005) relatam diminuição no requerimento energético e no consumo de combustível expressivos, de 50% e 30%, respectivamente, variando a profundidade de trabalho do arado de aivecas. Segundo os mesmos autores, a realização da subsolagem após o preparo pelo sistema de preparo periódico, requereu 15% menos potência

na barra de tração do trator e economia de 16,5% de combustível por área (SALVADOR *et al.*, 2008b).

Estudando diferentes sistemas de preparo do solo, Michel Junior *et al.* (1985) conseguiram expressiva redução de até 40% no requerimento energético na escarificação, quando comparado ao uso de arado de aivecas. O mesmo autor observa que a correta seleção e sequenciamento da operação, são importantes para diminuir despesas e aumentar o lucro dos produtores.

Castro (1989) e Derpsch (1991) afirmam que o escarificador e suas qualidades em relação ao preparo conservacionista do solo são pouco conhecidos entre os agricultores do Brasil. Estes autores salientam a elevada capacidade de trabalho e a economia de combustível proporcionada pelo escarificador, quando comparado como arado.

Analisando a demanda energética de diferentes sistemas de preparo reduzido e convencional do solo para a cultura do algodão irrigado, Coates e Thacker (1997) afirmaram que o de preparo do solo reduzido diminuiu a mobilização da camada superficial do solo e exigiu menos energia quando comparado aos sistemas convencionais que mobilizam mais o solo. Foi também observado pelos autores que os produtores conseguiriam reduzir consumo de combustível ao selecionar corretamente os sistemas de preparo do solo, sem alterar produtividade.

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

Avaliando as condições da superfície do solo, Gabriel Filho *et al.* (2010) concluíram que esta interferiu na capacidade do trator em desenvolver a tração, pois a maioria dos parâmetros relacionados com o desempenho apresentou variações estatisticamente significativas ao longo dos ensaios.

Serrano (2008), ao estudar a utilização de elevadas pressões de inflação dos pneus, concluiu que houve redução da ordem de 3 a 5% na capacidade de trabalho e aumento significativo, entre 10 e 25%, do consumo de combustível por hectare, mesmo em condições de boa aderência dos pneus, refletidas no intervalo de 7 a 15% de patinagem.

Levien *et al.* (2003), ao avaliarem o desempenho operacional dos métodos de preparo de solo, observaram que a capacidade operacional no preparo reduzido do solo (escarificação) foi três vezes maior, bem como demandou 21% menos potência e 52% menos combustível, por área trabalhada, quando comparado com o preparo convencional.

Relacionando o consumo específico de combustível para cada equipamento, Salvador *et al.* (2009) concluíram que as operações de preparo do solo, tais com arado, grade aradora e escarificador, proporcionaram melhor conversão energética quando utilizados antes da subsolagem, pois os menores valores de consumo específico de combustível significam a otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento à fonte de potência, de forma simultânea.

Conforme Mazuchowski e Derpsh (1984), escarificadores provocam uma pequena mobilização no solo, sem enterrar a maior parte dos resíduos vegetais, ao contrário do que ocorre quando utilizados implementos de preparo periódico do solo, tais como arados e grades.

De acordo com Gadanha Júnior (1992), os escarificadores atuam em profundidades variáveis, podendo chegarem na profundidade máxima de 35 cm, podendo oferecer benefícios no preparo primário do solo. A maioria dos estudos é conduzida para determinar a forma mais adequada de utilização e na introdução de melhorias mecânicas destes implementos. Entretanto, os experimentos têm sido executados principalmente com escarificadores que utilizam ponteiros de formato reto ou estreitos.

Lanças (1987,1988) estudando o desempenho de diferentes formas geométricas de hastes e ponteiros de subsoladores, verificou que a ponteira alada proporciona uma largura de corte estatisticamente superior a ponteira sem asas. Tendo obtido, para todas as interações com o tipo de haste e a velocidade de trabalho, uma área significativamente maior de solo mobilizado pela ponteira alada, em relação a sem asas, produzindo, desta forma, uma melhor conversão energética. Considera-se que a ponteira alada (ferramenta larga), pode vir a ser intensamente utilizada no preparo primário do solo, sendo, portanto, bastante oportuno o estudo da geometria desse tipo de ferramenta.

A variação dos parâmetros geométricos das ponteiros de escarificadores influi diretamente no desempenho da mesma. Fielke (1984) avaliando o desempenho de um conjunto de ponteiros de um determinado fabricante, verificou que a eficiência no gasto de energia, com a utilização do escarificador, pode ser melhorada, pois concluiu que 60% da diferença entre esforços de tração é causado ao formato das ponteiros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em área experimental pertencente ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da Universidade Federal de Ceará, Campus do Pici, Fortaleza/CE, nas coordenadas geográficas 03°43'02" de latitude Sul e 38°32'35" de longitude Oeste, com altitude média de 19 m (Figura 1). O clima da região é classificado conforme Koppen como Aw', com médias anuais de temperatura de 28°C e precipitação de 900 mm, tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão (PINTO, 2008).

Figura 1 - Área experimental



Fonte: Autor (2018).

4.1.2 Caracterização física do solo

As características físicas do solo foram determinadas por meio de análise de solo. As amostras foram coletadas, levadas para o Laboratório de Análise do Solo e avaliadas conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 1 encontram-se os valores obtidos para caracterização física do solo na área experimental.

Tabela 1 - Caracterização física do solo da área experimental.

Prof. (m)	DS (kg dm⁻³)	Ma (m³ m⁻³)	Mi (m³ m⁻³)	PT (m³ m⁻³)	Classe textural
0,0 - 0,15	1,44	0,09	0,15	0,24	Franco-arenoso
0,15 - 0,30	1,45	0,06	0,13	0,19	arenoso

Legenda: Prof. – profundidade, DS – densidade de solo, Ma – macroporosidade, Mi – microporosidade, PT – porosidade total.

Fonte: Laboratório de análise física e química do solo do Instituto Federal de Ensino Básico e Tecnológico (IFCE), Campus de Fortaleza.

4.1.3 Máquinas e equipamentos

4.1.3.1 Trator

Como fonte de potência foi utilizado um trator BM 120 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar), de 88,26 kW (120 cv), com tração dianteira auxiliar e botão de reserva de torque ligados (Figura 2), nas rotações de 2.000 rpm e marcha L2 para a primeira velocidade ($V1 - 3,0 \text{ km h}^{-1}$) e 2.200 rpm na marcha L3 para a segunda velocidade ($V2 - 6,0 \text{ km h}^{-1}$), equipados com pneus diagonais 14.9-24 R-1 no eixo dianteiro, pressão de inflação de 18 psi (124,1 kPa) e pneus diagonais 18.4-34 R-1 10 lonas no eixo traseiro, pressão de inflação de 22 psi (151,68 kPa), conforme as recomendações do fabricante. O trator foi adequado para operação pesada, com equipamento de arrasto, 75% de água nos pneus, com massa total de 6600 kg, distribuída 35% no eixo dianteiro e 65% no eixo traseiro, com relação peso-potência de 60 kg cv^{-1} .

Figura 2 - Trator utilizado no experimento.



Fonte: Autor (2018).

4.1.3.2 Escarificador

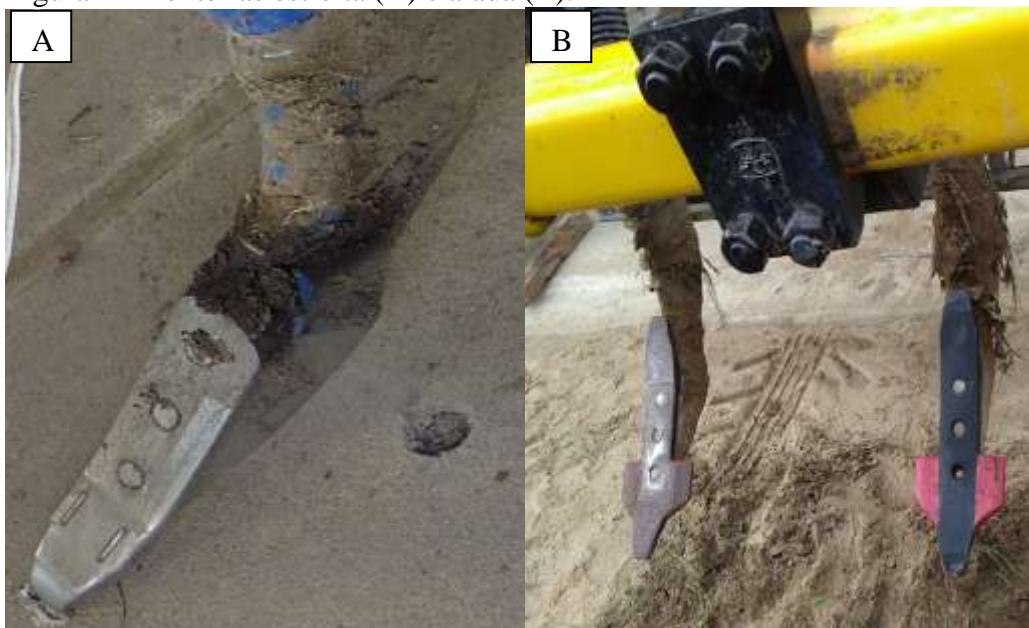
Para o preparo do solo utilizou-se um escarificador da marca TATU-MARCHESAN, modelo AST/MATIC 450 (Figura 3), configurado com cinco hastes de ponteiros estreitas e aladas (Figura 4), operando nos espaçamentos de 30, 40 e 50 cm entre as hastes, com ponteiros estreitos de 7 cm de largura, e ponteiros alados, com largura de 15 cm, o mesmo ainda possui cinco discos de corte lisos de 18” fixos, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador.

Figura 3 - Escarificador utilizado no experimento.



Fonte: Autor (2018).

Figura 4 – Ponteiros estreita (A) e alada (B).



Fonte: Autor (2018).

4.1.3.3 Sensores de aquisição de dados

Sensores de rotação tipo encoder instalados nos rodados dianteiros e traseiros. Estes sensores, modelo GIDP-15-U-12V, tem frequência de 15 pulsos por volta, para a medição da patinação, dos rodados (Figura 5).

Figura 5 – Sensores de rotação.



Fonte: Autor (2018).

Célula de carga, marca HBM, modelo U10M, com sensibilidade de 135 kW, capacidade de 125 kN, precisão de $\pm 1\%$, sensibilidade nominal de 2mV/V e tensão de excitação de 10 V, para a obtenção dos dados de força (Figura 6).

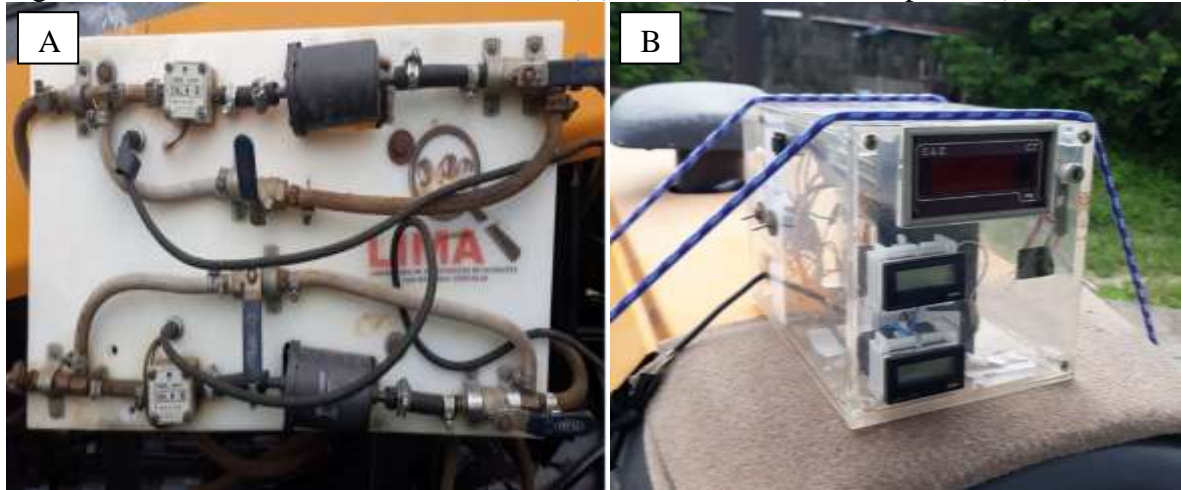
Figura 6 – Célula de carga.



Fonte: Autor (2018).

Fluxômetro da marca “Flowmate” oval, modelo Oval M-III e LSF 41, precisão de 0,01 mL instalados em série na entrada e no retorno da bomba injetora, com vazão de 1mL/pulso e sistema contador de pulsos, aos quais convertem pulsos em volume (Figura 7).

Figura 7 – Fluxômetros instalados no trator (A) e sistema contador de pulsos (B).



Fonte: Autor (2018).

Sistema de aquisição de dados Datalogger para trator – Modelo: DLT-001/16 para a leitura oriundas dos sensores de rotação e sensores de força. Este equipamento funciona como um coletor de dados portátil, que armazena dados de desempenho de tratores e implementos em campo. O Datalogger possui entradas para transdutores de consumo de combustível, força na barra de tração, rotação do motor, patinamento dos rodados, temperatura de combustível e outros, e é alimentado por bateria própria, sendo autônomo ao trator (Figura 8).

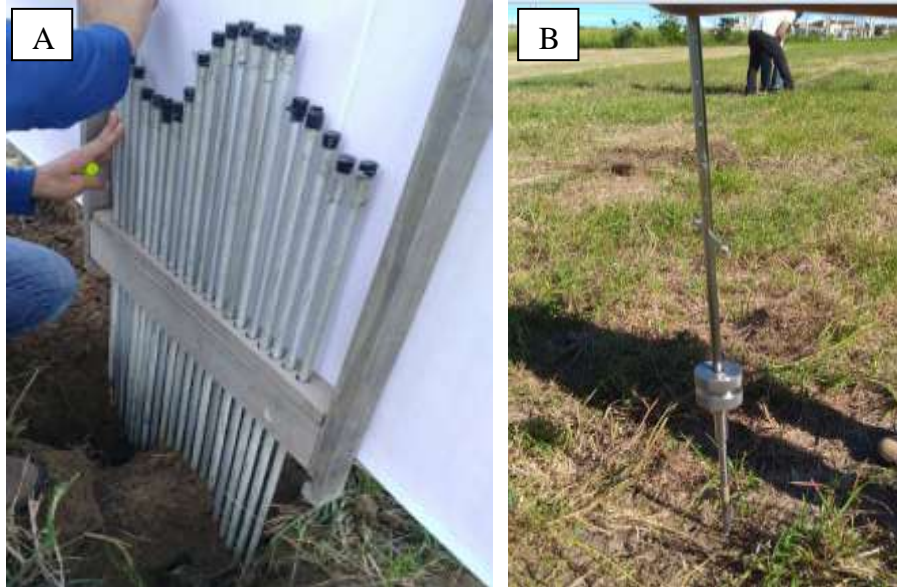
Figura 8 – Sistema de aquisição de dados.



Fonte: Autor (2018).

Perfilômetro com estrutura de madeira contendo 50 varetas de alumínio colocados na vertical de 60 cm de comprimento e com espaçamento entre varetas de 1 cm (Figura 9A) e penetrômetro de impacto modelo PI-60, da marca Sonda Terra (Figura 9B).

Figura 9 – Perfilômetro (A) e penetrômetro (B).



Fonte: Autor (2018).

4.2 Métodos

4.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial ($2 \times 2 \times 3$), sendo, duas velocidades de deslocamento ($3,0$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$), dois tipos de ponteiros do escarificador (estreita e alada) e três espaçamentos entre as hastes ($0,30$; $0,40$ e $0,50 \text{ m}$), com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada unidade experimental ocupou área de $2,80 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ (Figura 10).

Figura 10 – Croqui da área experimental.

BLOCO I	V1P2E3R1	V2P2E3R1	V1P1E1R1	V1P2E2R1	V1P1E2R4	V1P2E1R1	V2P2E1R1	V2P1E2R1	V2P2E2R1	V1P1E3R1	V2P1E2R1	V2P1E3R1	
BLOCO II	V1P2E1R2	V2P1E2R2	V2P1E3R1	V1P1E1R2	V1P2E3R2	V2P1E1R3	V1P1E3R2	V2P2E1R2	V1P2E2R2	V2P2E2R2	V2P1E2R2	V2P2E3R2	
BLOCO III	V2P1E3R1	V2P2E2R3	V2P2E3R3	V2P1E2R3	V2P2E1R3	V1P1E1R2	V2P1E2R1	V1P2E1R3	V2P1E1R2	V1P1E3R3	V1P2E3R3	V1P2E2R3	
BLOCO IV	V2P2E3R4	V2P1E1R1	V2P2E2R4	V2P1E2R4	V1P2E3R4	V1P1E1R4	V2P2E1R4	V1P1E3R4	V2P1E3R1	V1P2E1R4	V2P1E2R1	V1P2E2R4	20 m
												2,8m	

Legenda: V1 – 3,0 km h-1; V2 – 6,0 km h-1; P1 – estreita; P2 – alada; E1- 0,30 m; E2 – 0,40 m; E3 – 0,50 m; R – repetição.

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.2 Avaliações

4.2.2.1 Resistência do solo a penetração

Para que fosse possível determinar o nível de resistência mecânica do solo a penetração, foram definidos, no centro de cada área útil das parcelas, três pontos aleatórios, equidistantes de 1 m. Foi utilizado o penetrômetro de impacto, modelo IAA/P lanalsucar – Stolf, sendo as leituras realizadas com valores tomados nas profundidades de 0,0 - 0,15 e 0,15 - 0,30 m.

4.2.2.2 Umidade do solo

No momento da determinação da resistência do solo a penetração foi realizada a coleta de solo para determinação da umidade nas profundidades de 0,0 - 0,15 e 0,15 - 0,30 m, utilizando a metodologia proposta por Hillel (1980), assim as amostras foram pesadas ainda

úmidas e secas em estufa a 105°C por 24 horas, depois pesadas novamente, a diferença entre as massas obtidas, resultou na umidade presente no solo no momento da avaliação.

4.2.2.3 Patinamento dos rodados do trator

O patinamento dos rodados do trator foi determinado por meio da Equação 1, contando-se o número de voltas do rodado do trator na parcela experimental tracionando o implemento (com carga) e com o implemento erguido (sem carga).

$$PR = \left[\frac{n^1 - n^0}{n^1} \right] \times 100 \quad (1)$$

Em que:

PR é o patinamento dos rodados do trator (%);

n^0 é o número de voltas dos rodados sem carga;

n^1 é o número de voltas dos rodados com carga.

4.2.2.4 Consumo horário e específico de combustível

O consumo de combustível foi obtido por meio de dois fluxômetros instalados em série na entrada e no retorno da bomba injetora, obtendo-se o volume de combustível consumido pelo trator durante o percurso (Equação 2).

$$C_H = \left(\frac{q}{t} \right) \times 3,6 \quad (2)$$

Em que:

C_H é o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$);

q é o volume consumido na parcela, número de pulsos (mL);

t é o tempo para percorrer a parcela (s);

3,6 é o fator de conversão de unidade.

O consumo específico de combustível foi determinado conforme Equação 3 .

$$C_{esp} = \frac{C_h \times d}{P_b} \quad (3)$$

Em que:

C_{esp} é o consumo específico de combustível ($L h^{-1}$);

C_h é o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$);

P_b é a potência na barra (kW);

d é a densidade do combustível ($0,813\text{g mL}^{-1}$), à temperatura de $31\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtida no Laboratório de Engenharia de Materiais do Instituto de Educação de Ensino Básico e Tecnológico do Ceará (IFCE).

4.2.2.5 Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi determinada em função do tempo. Foi utilizado cronômetro digital, sendo ele acionado e desligado de acordo com a passagem do rodado dianteiro do trator lateralmente às estacas que delimitaram as parcelas (Equação 4).

$$V = \left(\frac{s}{t}\right) \times 3,6 \quad (4)$$

Em que:

V é a velocidade média (km h^{-1});

s é o espaço percorrido (m);

t é o tempo decorrido (s);

3,6 é o fator de conversão.

4.2.2.6 Força de tração na barra

A força de tração na barra foi obtida diretamente pela célula de carga, que ao ser tracionada, emitem os dados de força e enviam ao sistema de aquisição de dados para serem armazenados.

4.2.2.7 Potência na barra

A potência na barra de tração foi obtida de forma indireta em função da força de tração e velocidade (Equação 5).

$$PB = FT \times V \quad (5)$$

Em que:

PB é a potência na barra de tração (kW);

FT é a força na barra de tração (kN);

V é a velocidade real de deslocamento (km h^{-1}).

4.2.2.8 Área mobilizada e área de elevação

Para determinação da área mobilizada foi realizado o levantamento do perfil da superfície natural, de fundo e de elevação do solo (Figura 11). Após a obtenção dos dados dos perfis, a partir da delimitação e contagem em papel milimetrado, estes foram tabulados, plotados e calculados, obtendo-se, assim, a área mobilizada do solo e a área de elevação.

Figura 11 - Levantamento do perfil da superfície natural e de fundo, após passada do conjunto.



Fonte: Autor (2018).

O empolamento do solo foi obtido por meio da Equação 6.

$$Emp = \frac{AE}{AM} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que:

E é o empolamento (%);

AE é a área de elevação (m²);

AM é a área mobilizada (m²).

A resistência específica operacional foi determinada em função da relação da força pela área mobilizada (Equação 7).

$$Reo = \frac{Ft}{Am} \quad (7)$$

Em que:

Reo é a resistência específica operacional (kN m⁻²).

4.2.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva, por meio do coeficiente de simetria e curtose foi determinada a normalidade dos dados de acordo com Oliveira (2010). Após verificação da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância e quando significativos foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias utilizando o programa AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 encontram-se o resumo da análise de variância e valores médios obtidos para patinamento das rodas dianteiras (PRD) e traseiras (PRT), consumo horário (Ch) e específico do combustível (Cesp), velocidade de deslocamento (V), força de tração na barra (F) e potência na barra (P) para a operação de escarificação. As variáveis patinamento dos rodados dianteiros e traseiros, consumo específico de combustível foram influenciadas pela marcha e espaçamento entre hastes. No entanto, só foi observada interação dupla entre o tipo de ponteira e o espaçamento para o fator patinamento. A velocidade de trabalho foi afetada pela interação dupla entre o tipo de ponteira e o espaçamento. A força e a potência na barra de tração foram influenciadas pela marcha e tipo de ponteira. Os dados onde houve interação foram desdobrados e estão apresentados em forma de figuras.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para patinamento das rodas dianteiras (PRD) e traseiras (PRT) do trator, consumo horário de combustível (CH), consumo específico (Cesp), velocidade (V), força na barra de tração (F) e potência (P) na operação de escarificação.

Causas de Variação	PRD (%)	PRT (%)	Ch (L h⁻¹)	Cesp (g kwh⁻¹)	V (km h⁻¹)	F (kN)	P (kW)
Marcha (M)							
M1	11,52 ^b	12,16 ^b	13,39	364,19 ^a	3,86 ^b	26,27 ^b	30,16 ^b
M2	14,36 ^a	15,27 ^a	14,90	362,68 ^b	5,36 ^a	29,49 ^a	33,86 ^a
Ponteira (P)							
P1	11,95	12,74	13,65	355,80	4,73	26,40 ^b	30,31 ^b
P2	13,93	14,69	14,64	371,07	4,49	29,36 ^a	33,71 ^a
Espaçamento (E)							
E1	15,41 ^a	16,78 ^a	13,26	340,38 ^c	4,45	27,60	31,69
E2	11,91 ^{ab}	12,19 ^b	14,56	368,29 ^b	4,74	27,64	31,73
E3	11,50 ^b	12,18 ^b	14,62	381,63 ^a	4,65	28,40	32,60
Teste F							
M	4,97 [*]	5,25 [*]	0,83 ^{ns}	84,96 ^{**}	136,25 ^{**}	12,62 ^{**}	383,62 ^{**}
P	2,40 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,81 ^{ns}	3,23 ^{ns}	14,33 ^{**}	16,58 ^{**}
E	3,79 [*]	5,10 [*]	0,94 ^{ns}	3,63 [*]	1,74 ^{ns}	2,92 ^{ns}	2,41 ^{ns}
M x P	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,54 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,54 ^{ns}
M x E	2,03 ^{ns}	2,08 ^{ns}	4,07 [*]	1,75 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,40 ^{ns}
P x E	4,19 [*]	5,56 ^{**}	1,09 ^{ns}	1,10 ^{ns}	5,94 ^{**}	1,85 ^{ns}	2,59 ^{ns}
M x P x E	1,72 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,86 ^{ns}	5,06 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,00 ^{ns}
CV (%)	39,11	34,29	19,58	12,41	9,66	9,74	13,12

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * - significativo ($p < 0,05$); ^{ns} - não significativo ($p > 0,05$). M1-Marcha L2 coelho (4,05 km h⁻¹) a 2.000 rpm; M2- Marcha L3 coelho (6,15 km h⁻¹) a 2.200 rpm; P1 – Ponteira estreita; P2 - Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

O patinamento dos rodados dianteiros e traseiros aumentou conforme a mudança de marcha e rotação do motor do trator. A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. A ASABE (2006) determina que, para se obter a máxima eficiência de tração, o patinamento deve estar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos. No presente trabalho, obteve-se valores fora da faixa recomendada para solos sem mobilização, porém dentro da faixa recomendada para solos arenosos.

Resultado semelhante foi encontrado por Rodrigues (2009), para a operação de escarificação, quando obteve valor médio de 19,63% de deslizamento dos rodados, ao avaliar a resposta da cultura do sorgo em quatro velocidades de deslocamento e quatro sistemas de manejo de solo. SALVADOR *et al.* (2008) afirmam que a menor patinagem dos rodados motrizes proporciona menor compactação do solo, menor desgaste dos pneus e dos mecanismos de transmissão, além de reduzir gasto adicional de combustível.

O consumo horário de combustível é um dos principais fatores na composição nos custos operacionais agrícolas, no entanto, na operação de escarificação, não sofreu influência de nenhum dos fatores avaliados, entretanto, houve uma tendência de resultados a um maior consumo com o aumento da marcha, tipo de ponteira e aumento do espaçamento entre hastes.

Compagnon *et al.* (2013), ao estudar o desempenho do conjunto trator-escarificador em duas profundidades de trabalho avaliadas durante o processo de escarificação, puderam concluir que quanto maior a profundidade de trabalho, maior o aumento do consumo horário e operacional de combustível, força e potência na barra de tração e patinagem.

O consumo específico de combustível sofreu influência tanto da marcha de trabalho quanto do espaçamento entre hastes, resultado que pode ser atribuído à menor exigência de força de tração durante a operação de escarificação. A marcha L2 a 2.000 rpm ocasionou maior consumo específico, que apresentado por esses equipamentos nessas condições de uso, o fato se deve à menor exigência de força de tração.

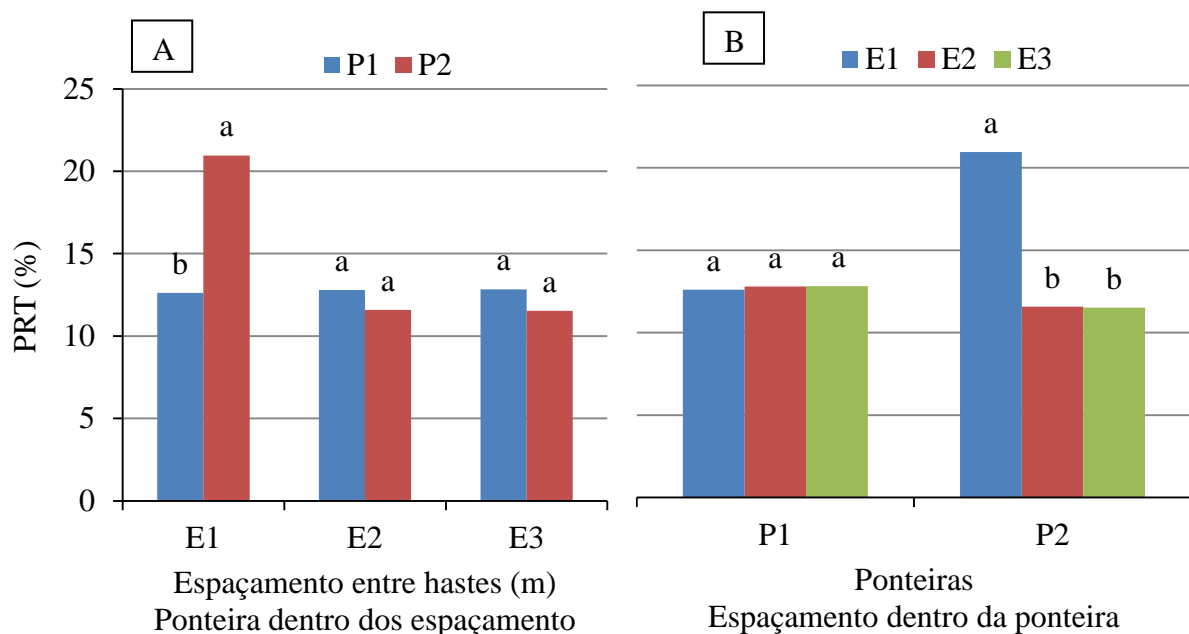
Lyne *et al.* (1984), baixos valores de consumo específico de combustível significam otimização simultânea do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação implemento fonte de potência. A existência de correlação negativa entre o consumo específico de combustível e de potência reforça essas afirmações. Neste estudo, não houve diferença significativa nos tratamentos para o fator velocidade, corroborando com Santos *et al.* (2016), que avaliou um trator BM 120 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), de

88,26 kW (120 cv) e com motor na rotação de 2.000 rpm, com a tração dianteira ligada, duas lastragens líquidas (0 e 75%) e três profundidades de escarificação (0,15, 0,30 e 0,40 m), foi verificado variação na velocidade, mas não houve diferença significativa.

A força e a potencia na barra apresentaram uma correlação positiva tanto para marcha quanto para o tipo de ponteira. Nesse cenário, a força de tração obteve seus menores valores quando a velocidade de deslocamento foi menor, obtendo assim um valor de 26,25 kN. Já a ponteira alada (P2) influenciou no aumento da força de tração, resultado que pode ser atribuído a um maior empolamento do solo.

Na Figura 12 encontram-se os valores médios obtidos do desdobramento para patinamento dos rodados traseiro do trator (PRT), podendo ser observar maior patinamento para P2 (ponteira alada) no E1 (0,30 m) de 20,96%, resultado que pode ser atribuído a maior exigência tratório durante a operação de escarificação, não sendo recomendado pela Asabe (2006) para solos sem mobilização. Salvador *et al.* (2008) afirmam que a menor patinagem dos rodados motrizes proporciona menor compactação do solo, menor desgaste dos pneus e dos mecanismos de transmissão, como também reduz os gastos adicionais de combustíveis

Figura 12 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B) para o patinamento dos rodados traseiro do trator (PRT)

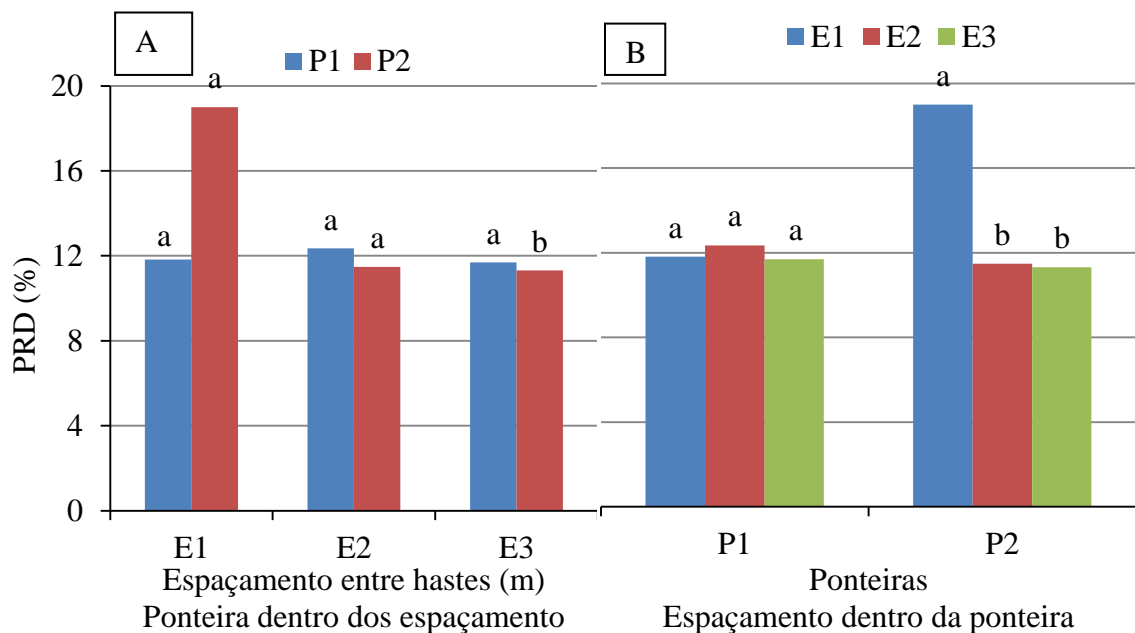


Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. ; P1 – Ponteira estreita; P2 - Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 13, é apresentado o desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B) para o patinamento dos rodados

dianteiro do trator (PRD) foi semelhante ao patinamento dos rodados traseiro do trator (PRT), na qual maior patinamento foi obtido para P2 no E1. Coelho *et al.* (2012) encontraram valores de patinagem na operação de escarificação nas marchas 1ª reduzida A2 (3,00 km h⁻¹), 2ª reduzida A3 (4,20 km h⁻¹) e 1ª intermediária B1 (5,00 km h⁻¹), obtidas em condição de teste de desempenho a 2.400 rpm, respectivamente, 13,53; 19,5 e 17,68%.

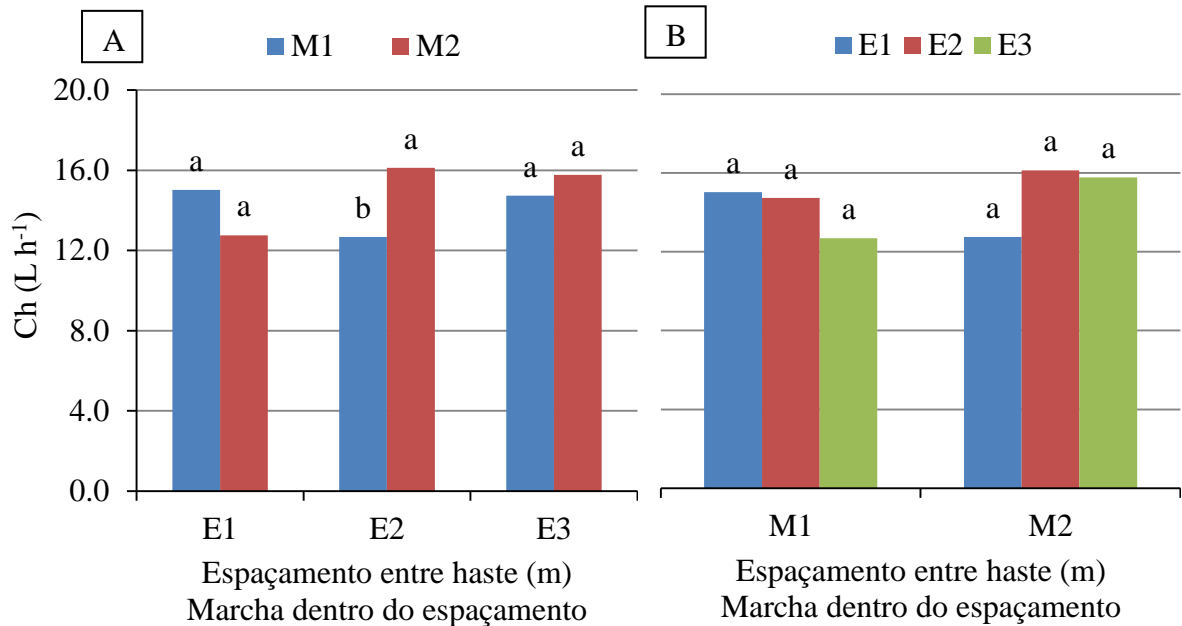
Figura 13 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B) para o patinamento dos rodados dianteiro do trator (PRD).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ; P1 – Ponteira estreita; P2 - Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 14, encontram-se os valores médios obtidos do desdobramento para o consumo horário de combustível, podendo ser observado maior consumo horário de combustível para a M2 (L3 – 2.200 rpm). Já avaliando o desdobramento do espaçamento dentro das marchas não obteve diferenças estatísticas entre os tratamentos, no entanto, o maior valor de consumo de combustível foi obtido no E2 (0,40 m).

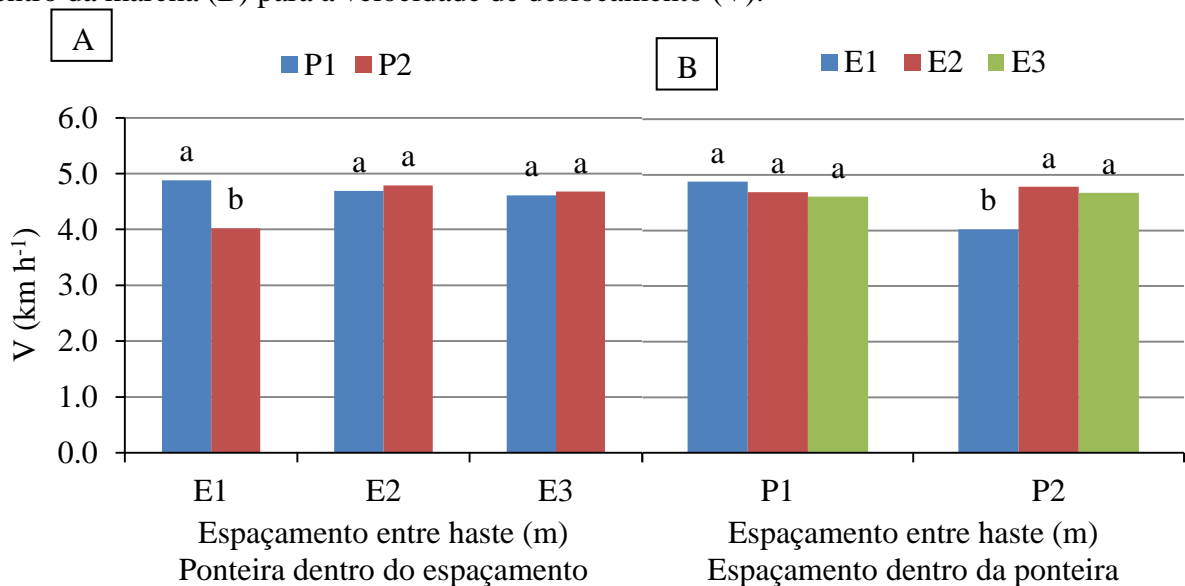
Figura 14 – Desdobramento da marcha dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para o consumo horário de combustível.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. M1- Marcha L2 coelho (4,05 km h⁻¹) a 2.000 rpm; M2- Marcha L3 coelho (6,15 km h⁻¹) a 2.200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 15, encontram-se os valores médios obtidos do desdobramento para a velocidade de deslocamento, na qual avaliando a interação entre ponta e espaçamento, a maior velocidade de deslocamento foi obtida com a P1 (ponteira estreita) no E1 (0,30 m), resultado que pode ser atribuído a menor resistência específica do solo por área e menor área mobilizada pela haste.

Figura 15 – Desdobramento da ponteira dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a velocidade de deslocamento (V).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. P1 – Ponteira estreita; P2 - Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Tabela 3 podemos observar o resumo da análise de variância e valores médios obtidos para umidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração, nas profundidades de 0,00-0,15 e 0,15-0,30 m. Não foi verificada nenhuma diferença significativa entre as médias dos tratamentos discorrendo de Tormena *et al.* (2008) que afirmaram que a resistência do solo à penetração é modificada pelos sistemas de preparo do solo e Bavoso *et al.* (2010) ao verificarem as alterações estruturais no solo devido as diferentes formas de uso e preparo do solo promovem alterações na resistência à penetração, o que não foi observado no presente trabalho.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para umidade do solo na profundidade 1 (US1), umidade do solo na profundidade 2 (US2), resistência mecânica do solo à penetração na profundidade 1 (RP1) e resistência mecânica do solo à penetração, respectivamente, nas profundidades 0,00-0,15 (1) e 0,15-0,30 m (2).

Causas de Variação	US1 (%)	US2 (%)	RP1 (MPa)	RP2 (MPa)
Marcha (M)				
M1	7,13	5,98	0,89	1,31
M2	7,39	7,77	0,89	1,52
Ponteira (P)				
P1	7,13	5,53	0,81	1,32
P2	7,39	8,22	0,97	1,50
Espaçamento (E)				
E1	6,43	6,48	0,78	1,32
E2	6,88	6,85	0,87	1,41
E3	8,46	7,29	1,02	1,52
Teste F				
M	0,07 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,64 ^{ns}
P	0,07 ^{ns}	3,41 ^{ns}	2,01 ^{ns}	1,28 ^{ns}
E	1,58 ^{ns}	0,10 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,56 ^{ns}
M x P	2,51 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,85 ^{ns}	0,38 ^{ns}
M x E	0,41 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,54 ^{ns}
P x E	1,09 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,04 ^{ns}	1,44 ^{ns}
M x P x E	2,44 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,63 ^{ns}
CV (%)	33,02	51,78	31,16	27,31

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - não significativo; M1-Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; P1 – Ponteira estreita; P2- Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50.

Na Tabela 4 podemos observar o resumo da análise de variância e valores médios obtidos para a área mobilizada, área de elevação, empolamento e resistência específica do solo. Houve interação significativa ao nível de 5% de probabilidade para a área de elevação, empolamento do solo e resistência específica (M x E) e empolamento (P x E), o que necessita dos desdobramentos para explicar os resultados.

A área mobilizada (AM) e a resistência específica por área mobilizada (RM) apresentaram diferenças estatísticas entre as marchas (Tabela 3), sendo observada menor área de solo mobilizada e maior resistência do solo na M2 (L3 2.200 rpm) resultado semelhante encontrado por Macedo *et al.* (2016).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância e valores médios obtidos para Área mobilizada (AM), Área de elevação (AE), Empolamento (E) e Resistência específica (RE) na operação de escarificação.

Causas de Variação	AM (m²)	AE (m²)	E (%)	RE (kN m²)
Marcha (M)				
M1	0,56 ^a	0,14 ^b	27,02 ^b	54,30 ^b
M2	0,44 ^b	0,21 ^a	49,81 ^a	74,67 ^a
Ponteira (P)				
P1	0,54 ^a	0,17	34,83 ^b	54,91 ^b
P2	0,46 ^b	0,17	42,00 ^a	74,05 ^a
Espaçamento (E)				
E1	0,47 ^b	0,14 ^b	30,92 ^b	59,24
E2	0,57 ^a	0,18 ^a	41,89 ^a	64,94
E3	0,46 ^b	0,20 ^a	42,44 ^a	68,70
Teste F				
M	14,36 [*]	22,12 ^{**}	59,23 ^{**}	18,97 ^{**}
P	6,29 [*]	0,00 ^{ns}	5,85 [*]	17,98 ^{**}
E	5,60 [*]	6,20 ^{**}	6,42 ^{**}	1,45 ^{ns}
M x P	0,82 ^{ns}	5,97 [*]	0,14 ^{ns}	2,48 ^{ns}
M x E	12,99 [*]	7,29 ^{**}	13,56 ^{**}	8,26 ^{**}
P x E	0,25 ^{ns}	3,35 [*]	6,28 ^{**}	1,86 ^{ns}
M x P x E	3,41 ^{ns}	10,37 ^{ns}	17,64 ^{ns}	2,86 ^{ns}
CV (%)	20,43	26,43	26,69	24,66

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo (p<0,05); ns - não significativo (p>0,05); * - significativo (p>0,001); M1- Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; P1 - Ponteira estreita; P2- Ponteira alada; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50.

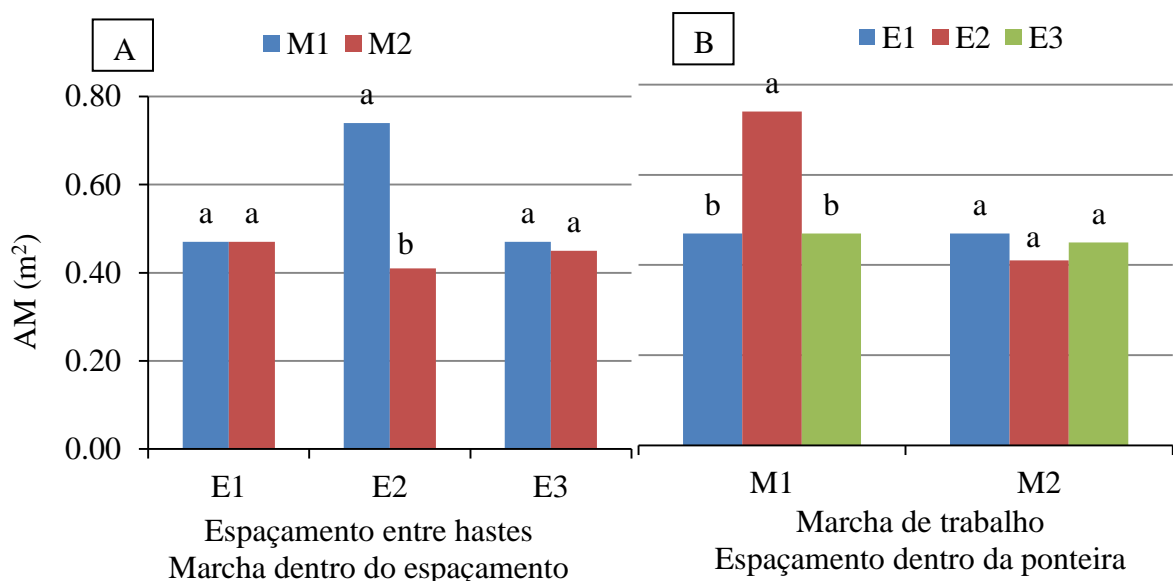
O mesmo ocorreu com a P2 (ponteira alada) que apresentou menor AM, maior ES e maior RE, resultado que pode ser atribuída a geometria da haste. Já o espaçamento entre hastes apresentou diferenças significativas para a área mobilizada a 1% de probabilidade,

sendo que o E2 (0,40 m) diferiu estatisticamente de E1 (0,30 m) e E3 (0,50 m). O aumento da velocidade implicou em aumento da RE, indo de encontro ao que Al-Suhaibani e Ghaly (2010) encontraram ao estudar a operação de um escarificador em quatro velocidades (2,7; 4,3; 6,3 e 8,3 km h⁻¹). Os mesmos autores ainda observaram que o aumento da profundidade de trabalho aumenta a variável RE.

A marcha de trabalho apresentou diferença estatística para a área de elevação (AE) e empolamento do solo (E). Esse resultado pode estar associado a elevação da marcha de trabalho que proporcionou um aumento dessas variáveis e a baixa mobilização do solo. Já a ponteira não diferiu entre os tratamentos para a área de elevação, no entanto, o empolamento do solo foi maior com a P2 (ponteira alada). Os valores encontrados para área mobilizada ficaram próximos ao encontrado por Santos *et al.* (2014), avaliando a mobilização do solo, velocidade de infiltração e taxa de cobertura, em condições de manejos mecanizados com escarificador em pastagem.

Na Figura 16 encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa, onde podemos observar que, para o desdobramento marcha dentro dos espaçamentos (A) e do espaçamento dentro das marchas (B), verifica-se diferenças significativas entre as médias com maior área mobilizada pela M1 (L2 a 2.000 rpm) no E2 (0,40 m). Machado *et al.* (2005), afirma que a operação de escarificação consiste em mobilizar o solo a determinada profundidade, até trinta centímetros, tendo uma mobilização superficial mínima e mantendo a cobertura do solo.

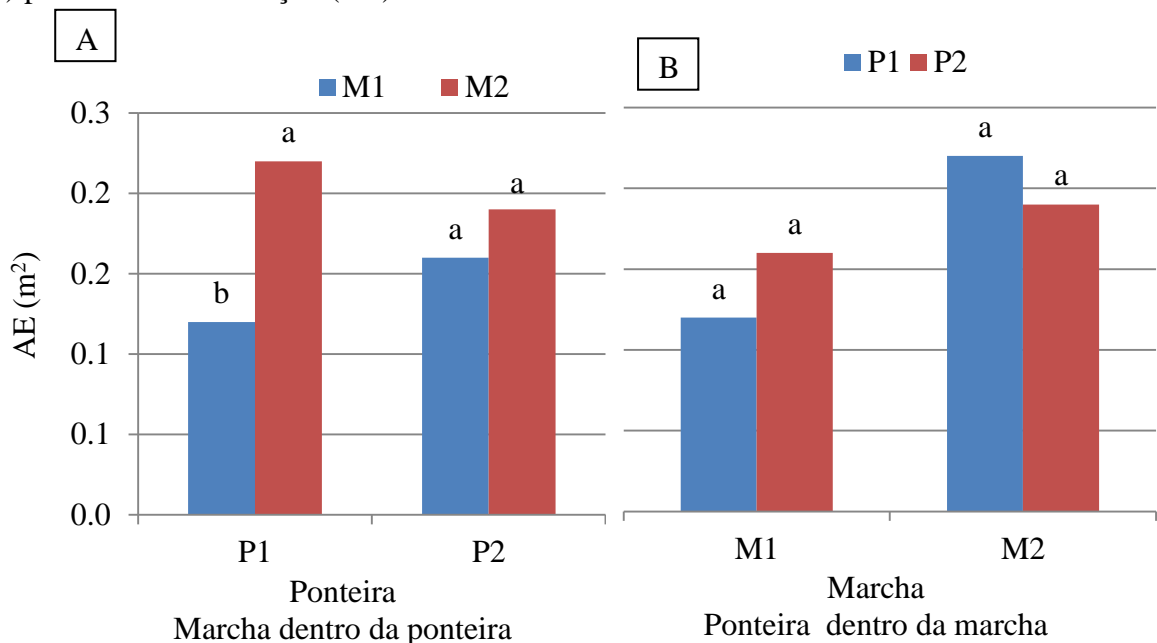
Figura 16 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a área mobilizada (AM).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 17, encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa, onde podemos observar o desdobramento da marcha dentro da ponteira (A) e da ponteira dentro da marcha (B). É possível observar que houve diferenças entre as marchas para a área de elevação na P1 (ponteira estreita). O resultado atribuído a influencia do aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado profundidade de atuação das hastes, principal para observação de variação da área de elevação.

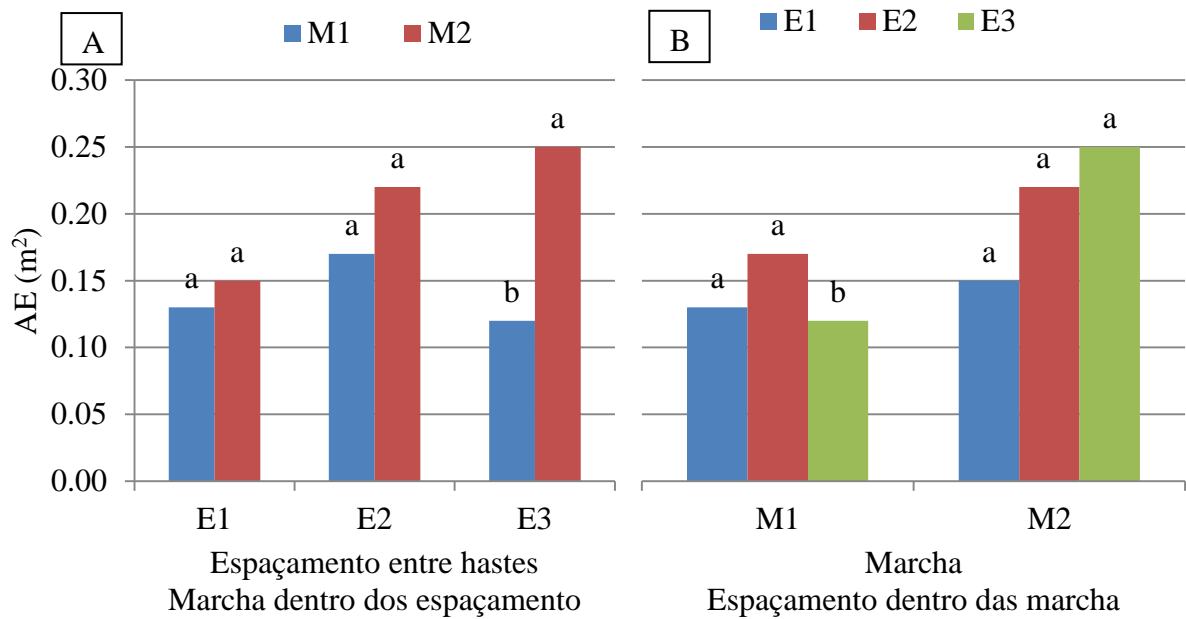
Figura 17 – Desdobramento da marcha dentro da ponteira (A) e da ponteira dentro da marcha (B) para a área de elevação (AE).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2.000 rpm; M2- Marcha L3, 2.200 rpm; P1- Ponta estreita; P2 – ponta alada.

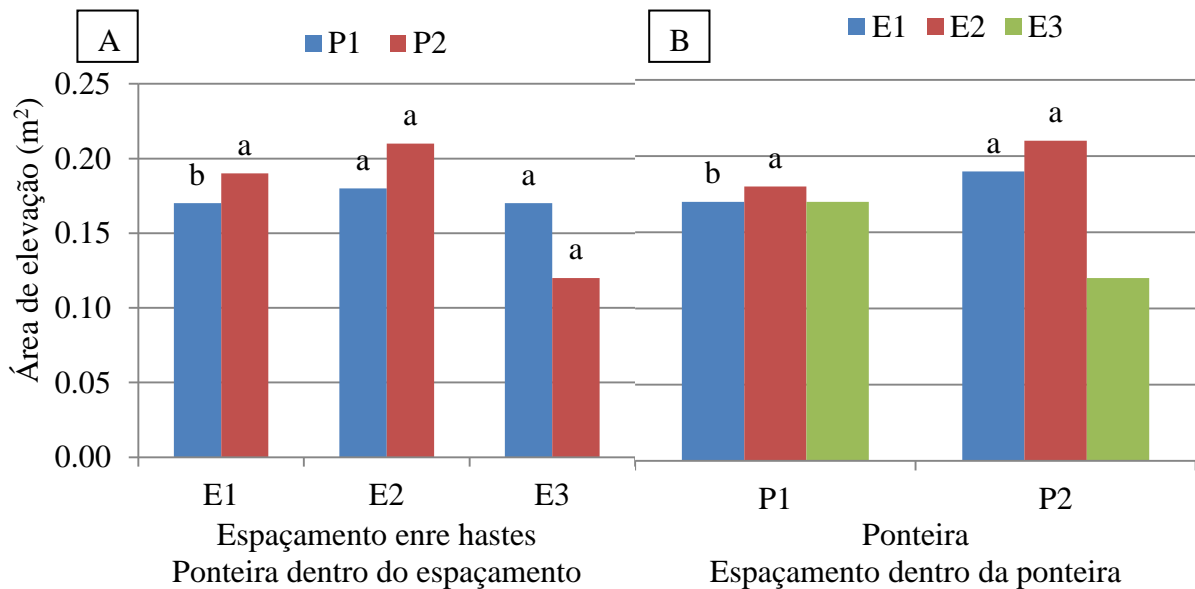
Na Figura 18, encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa, onde podemos observar o desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e espaçamento dentro da marcha (B). É possível observar que houve diferenças entre as marchas para a área de elevação na M2 (L3 – 2.200 rpm) com E3 (0,50 m). O resultado mais uma vez atribuído à influencia do aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, que exerceu influencia sobre a profundidade de atuação das hastes.

Figura 18 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para a área de elevação (AE).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2.000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

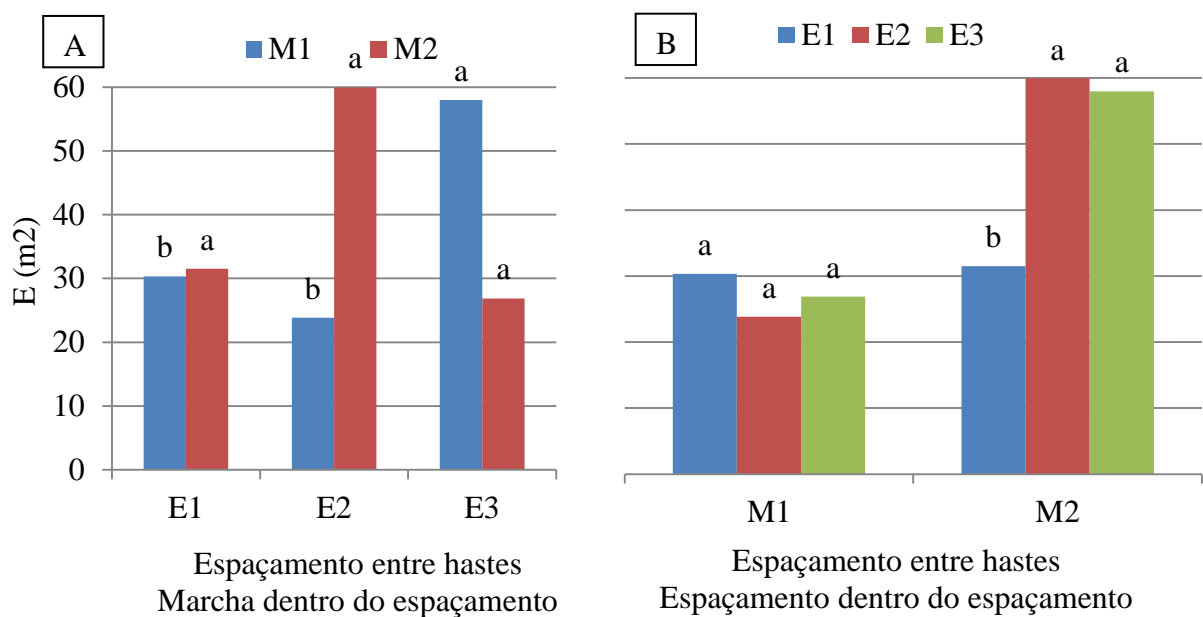
Figura 19 – Desdobramento da interação ponteira dentro do espaçamento (A) e interação espaçamento dentro da ponteira (B) para a área de elevação.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2.000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 20, encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa. Para o empolamento do solo, foi possível verificar pelo desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B), maior média para a M2 (L3 – 2.200 rpm), não diferindo da M1 (L2 – 2.000 rpm) com a E2 (0,40 m), não diferindo do E3 (0,50 m) resultado que pode ser atribuído ao aumento da velocidade de deslocamento durante a operação.

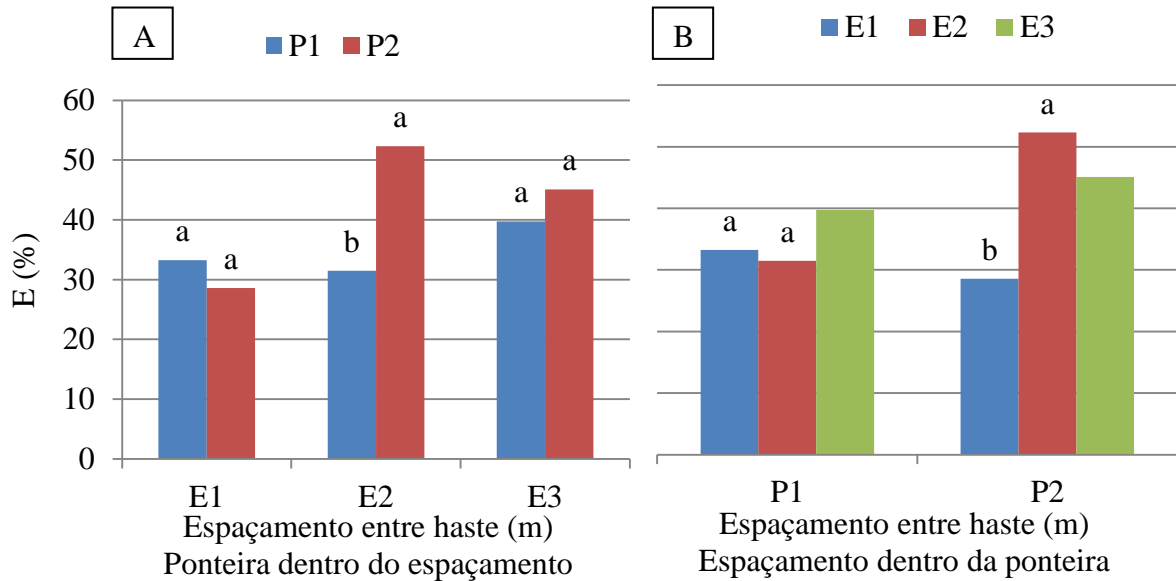
Figura 20 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da marcha (B) para o empolamento do solo (E).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastas de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastas de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastas de 0,50 m.

Na Figura 21, encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa. Para o empolamento do solo, foi possível verificar pelo desdobramento da ponteira dentro do espaçamento (A) e do espaçamento dentro da ponteira (B), maior média para a M2 (L3 – 2.200 rpm), não diferindo da M1 (L2 – 2.000 rpm) com a E2 (0,40 m), não diferindo do E3 (0,50 m) resultado que pode ser atribuído ao aumento da velocidade de deslocamento durante a operação.

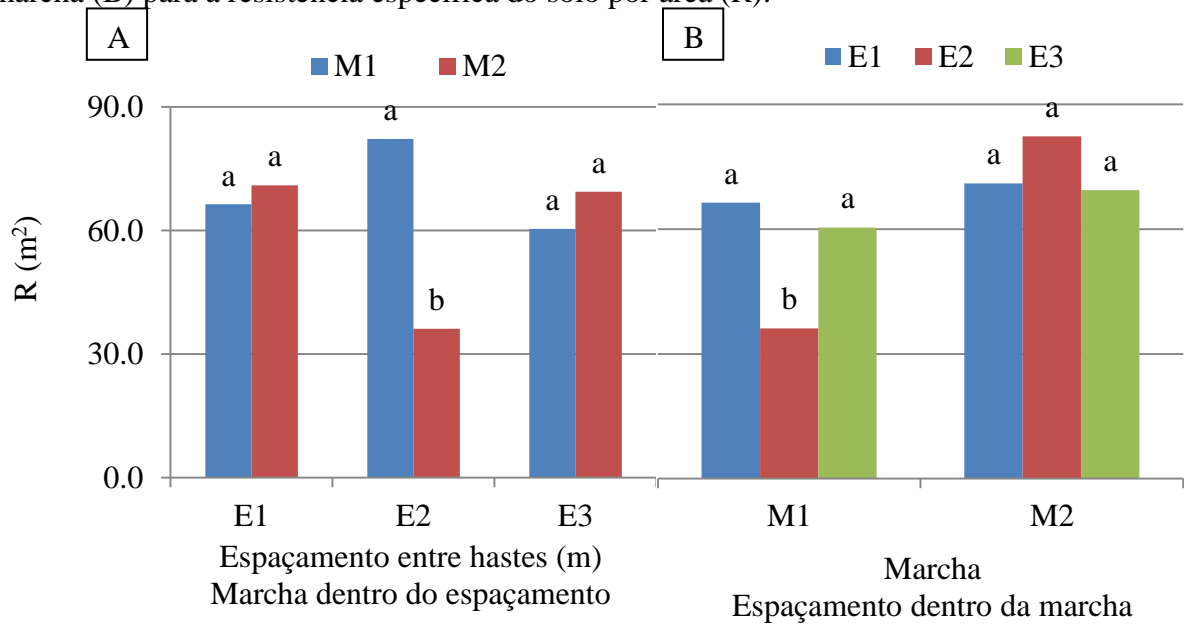
Figura 21 – Desdobramento da ponteira dentro do espaçamento (A) e da marcha dentro do espaçamento (B) para o empolamento do solo (E).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

Na Figura 22, encontra-se a representação gráfica do desdobramento da interação significativa. No desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e espaçamento dentro da marcha (B) é possível observar que houve diferenças entre as marchas, apenas no espaçamento de 0,40 m (E2), sendo que, o maior valor de resistência foi obtido pela M1 (L2 – 2.000 rpm) no E2 (0,40 m). Esses resultados discorrem dos encontrados por Al-Suhaibani e Ghaly (2010) ao estudarem a operação de um escarificador em quatro velocidades (2,7; 4,3; 6,3 e 8,3 km h⁻¹) e Gassen et al. (2014) ao avaliarem a resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea (V1 = 3,0 km h⁻¹; V2 = 6,0 km h⁻¹; V3 = 7,0 km h⁻¹) concluindo que o aumento da velocidade implicou em aumento da resistência específica do solo.

Figura 22 – Desdobramento da marcha dentro do espaçamento (A) e espaçamento dentro da marcha (B) para a resistência específica do solo por área (R).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; M1- Marcha L2, 2000 rpm; M2- Marcha L3, 2200 rpm; E1- Espaçamento entre hastes de 0,30 m; E2: Espaçamento entre hastes de 0,40 m; E3: Espaçamento entre hastes de 0,50 m.

6 CONCLUSÃO

O aumento da velocidade proporcionou acréscimo do patinamento dos rodados, consumo específico de combustível, velocidade de deslocamento, força de tração e potência, área de elevação, empolamento e resistência específica do solo, mas não teve alteração com a umidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração e área de solo mobilizado.

A ponteira alada influenciou no incremento de força requerida na barra de tração, potência na barra, empolamento do solo, resistência específica do solo e reduziu a área mobilizada do solo.

O espaçamento entre hastes não influenciou o consumo horário de combustível, velocidade de deslocamento, força e potência na barra.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR-GILANDEH, Y; KHALILIAN, A; ALIMARDANI, R; SADATI, S. H. (2005). Energy savings with variable-depth tillage. **Proceedings of the 2005 Southern Conservation Tillage Systems Conference**, Florence, South Carolina, USA. 2005.
- ALAOUI, A; LIPIEC, J; GERKE, H.H. **A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 115–116, p. 1–15, Oct./Nov., 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198711001139>>. Acesso em 1 jun. 2018.
- Al-SUHAIBANI, S. A.; GHALY, A. E. Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.5, n.1, p.247-255, 2010.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships**. In: ASAE standards: standards engineering practices data. St. Joseph, 1982. p.229-241.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**. In: ASAE standards 1996: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996. p. 332-339. (ASAE D-497.2).
- ARAÚJO, F.S. Physical quality of a Yellow Latosol under integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.717-723, 2010.
- ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management**. St. Joseph: EP 496.3, 2006.
- BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.1, p.731-738, 2010.
- BAUDER, J.W.; RANDALL, G.W.; SWAN, J.B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science Society**. v.5, n.3, p.802-806, 1981.
- BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 4, n.1, p. 173-182, 2010.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; KRUGER, C.A.M.B.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Intercepted solar radiation by maize crops subjected to different tillage systems and water availability levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1331-1341, 2010.
- BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; AIDA, F.T.; SOUZA, W.R.; DAVOGLIO JUNIOR, A.C.; FURLANETO, T.L.R.; TAVARES FILHO, J. Sistema radicular de plantas cítricas e atributos

físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido à escarificação. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p.820-825, 2005.

BUHLER, D.D. Influences of tillage systems on weed population dynamics and management in corn soybean in the Central USA. **Crop Science**, v.35, n.5, p.1247-1258, 1995.

CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JÚNIOR, C.A.; CENTURION, J.F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 60-68, 2012.

CARVALHO FILHO, A. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 01, p. 229-237, 2007.

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

COATES, W.; THACKER, G. Reduced tillage systems for irrigated cotton: energy requirements and crop response. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 13, n. 01, p. 31-34, 1997.

COELHO, H.; FERNANDES, H. C.; CAMPOS, D. S.; TEIXEIRA, M. M.; LEITE, D. M. Deslizamento de rodados de tratores de pneus em diferentes operações agrícolas. **Revista Ceres**, v.59, n.3, p 330-336, 2012.

DALLMEYER, A.U. 1994. 156p. **Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo**. Tese de Doutorado. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo

DANIEL, L.A & MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M., coord. Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 4. Jundiaí, 1990. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p.22-33.

DERPSCH, R. **Agricultura sustentável**. In: SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. (Ed) O meio ambiente e o plantio direto. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1997. p. 29-48.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. 272p.

FRANTZ, U.G.; SCHLOSSER, J.F.; FARIAS, M. S.; FERRIGOLO, L. F.; EBERT, L.C. Eficiência energética de um trator agrícola utilizando duas configurações de tomada de potência. **Ciência Rural**, v. 44, n.7, p. 1219-1222 2014.

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

FIELKE, J. M. **Scarifier and combine share testing using comparison dynamometers**. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. Bundaberg: South Australian Institute of Technology, 1984.

FIELKE, J. M. **The influence of chisel plough share wing geometry on tillage forces.** in: PROCEEDINGS OF THE ELEVENTH INTERNATIONAL CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING. Dublin: Agricultural and Food Engineering Department, University College Dublin, 1989. p. 1531-8.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, v 26, n.2, p.113-121, 2006.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. **Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. 34p. (Boletim Técnico, 121).

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

GADANHA JUNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J. L. D. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** São Paulo : Núcleo Setorial de Informações em Máquinas Agrícola, Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 449p

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

GASSEN, J. R. F; ALONÇO , A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BELLÉ, M. P.; BONOTTO, G. J. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p. 116-124,2014.

GODWIN, R.J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil Tillage Research**, v.97, n.2, p.331-340, 2007.

GROHMANN, F.; ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da Terra Roxa Legítima. **Bragantia**, v.20, n.2, p.1203-1209, 1961.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. **Soil compaction incropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions.** Soil Tillage Research., v.82, n.3 p.121-145, 2005.

KERTZMAN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação do solo.** São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996. 190p. (Tese de Doutorado)

KICHLER, C. M. Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, n.7, v.2, p.10-28. 2007.

LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidade de deslocamento.** 1987. 112f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, SP.

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

LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, E. A. Manejo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.2, p. 277-289, 2003.

LYNE, P. W. L.; BURT, E. C.; MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. **Transactions ASAE**, v.27, n.1, p. 5-11, 1984.

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V.; FERREIRA, M.F.P.; MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.C.; BAUER, G.B. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.2, p. 481-486, 2005.

MACHADO, T. M.; LANÇAS, K. P.; FIORESE, D. A.; FERNANDES, B. B.; TESTA, J. V. P. Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1121-1125, 2015.

MARTUCCI, F.C. Escarificador no preparo do solo. **A Granja**, Porto Alegre, v.16, n.6, p.44-46, 1985.

MAZUCHOWSKI, J. Z., DERPSH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas.** Curitiba: ACARPA, 1984. 156 p.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.

MCLAUGHLIN, N. B. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 04, p. 1153-1163. 2008.

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.

MELLO, L.M.M., TAKAHASHI, C.M. Avaliação de mecanismos rompedores e rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras para cultura do milho (*Zea mays L.*) em semeadura direta. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**,29., 2000, Fortaleza. Anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. CD-ROM.

MICHEL JÚNIOR, A.J. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugar beets, dry beans and corn. **Transaction of the ASAE**, v.28, n.6, p.1731-1735, 1985.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E.C.; CORRÊA, A.R.; PELLIN, D.M.P.; CARVALHO, M.P.; DALCHIAVON, F.C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milho. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p. 125-135, 2012.

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

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.04, p.1735-1742, 2008a.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 5.ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1995. 465p.

PAYNE, P. C. J., TANNER, D. W. The relationship between rack angle and the performance of simple cultivation implements. **Journal Agricultural Engennier Research**, v. 4, n. 4, p. 312-25, 1959.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n.03, p.122-128, 2005.

RODRIGUES, J. G. L. 2009. 94p. **Desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de mesquita Filho/UNESP, Botucatu.

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

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

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 378-383, 2008a.

SALVADOR, N.; BENEZ, S.H.; MION, R.L. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, n.3, p.378-384, 2008.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Requerimento energético e desagregação do solo em diferentes sistemas de preparo periódico num Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.06, n.04, p. 226-234, 1998.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.02, p. 256-262, 2008b.

SANTOS, A. R.; SANTOS, C. A.; SANTOS, A. R. As relações de poder no semiárido nordestino. **Revista Ambivalências**, v.02, n.04, p. 151-164, 2014.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos micro-estruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.03, p.669-678, 2002.

SERRANO, J.M.P.R. Pressão de insuflagem dos pneus no desempenho do conjunto trator-grade de discos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.2, p.227-233, 2008.

SERRANO, J. M. P. R..Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 07, p. 1021-1027, 2007.

SILVA, A.P., IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, n.4, p.451-6, 2004a.

SILVA, A.R.B. da; BENEZ, S.H. Cultivares de milho: produtividade em diferentes sistemas de manejo de solo e espaçamentos. **Energia na Agricultura**, v.20, n.2, p.77-90, 2005.

SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988, 243 p

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

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v. 19, n. 2, p. 111-119, 1991.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. Densidade, porosidade e resistência a penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.01, p.33-42, 2008

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

VALICHESKI, R.R.; GROSSKLAUS, F.; STÜMER, S.L.K.; TRAMONTIN, A.L.; BAADE, E.S.A.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.969-977, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Estatística descritiva dos tratamentos para o patinamento dos rodados traseiros (PRT)

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	9,93	5,50	2,34	1,02	0,90
M1P1E2	9,54	41,54	6,44	-0,87	0,37
M1P1E3	13,87	28,17	5,30	1,89	0,28
M1P2E1	9,19	19,30	4,39	-0,80	-1,13
M1P2E2	9,93	5,99	2,44	0,96	0,48
M1P2E3	20,50	44,32	6,65	0,72	-1,28
M2P1E1	15,73	47,23	6,87	0,52	-1,03
M2P1E2	16,05	23,63	4,86	0,71	0,90
M1P1E3	11,35	2,15	1,46	0,72	0,46
M2P2E1	13,86	0,19	0,43	0,46	1,63
M2P2E2	13,22	2,41	1,55	0,23	0,37
M2P2E3	21,42	23,03	4,79	-1,32	0,37

APÊNDICE B - Estatística descritiva dos tratamentos para o patinamento dos rodados dianteiro (PRD)

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	8,79	9,09	3,01	1,50	0,80
M1P1E2	8,92	33,42	5,78	2,89	0,39
M1P1E3	13,82	26,46	5,14	2,57	-0,90
M1P2E1	9,49	17,16	4,14	2,07	-2,13
M1P2E2	10,33	1,44	1,20	0,60	0,48
M1P2E3	17,78	7,83	2,79	1,39	-1,28
M2P1E1	14,60	56,62	7,72	3,86	-1,60
M2P1E2	15,78	34,26	5,85	2,92	0,90
M1P1E3	9,82	1,11	1,05	0,52	0,52
M2P2E1	13,12	1,62	1,27	0,63	1,63
M2P2E2	12,63	2,78	1,66	0,83	-0,08
M2P2E3	20,21	19,19	4,38	2,19	0,75

APÊNDICE C - Estatística descritiva dos tratamentos para o consumo horário de combustível.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	15,17	4,07	2,00	1,00	-0,06
M1P1E2	12,00	4,94	2,22	1,11	1,12
M1P1E3	13,00	3,16	1,77	-0,88	0,38
M1P2E1	14,30	0,49	0,70	0,35	0,09
M1P2E2	13,37	0,47	0,69	0,34	0,60
M1P2E3	17,05	3,14	1,77	0,88	0,82
M2P1E1	16,00	30,95	5,56	2,78	0,16
M2P1E2	16,37	7,57	2,75	1,37	-0,43
M1P1E3	12,50	4,10	2,02	-1,01	0,60
M2P2E1	15,57	16,91	4,11	2,05	-0,02
M2P2E2	15,90	0,56	0,75	-0,37	-1,10
M2P2E3	13,02	12,57	3,54	1,77	2,89

APÊNDICE D - Estatística descritiva dos tratamentos para o consumo específico de combustível.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	424,69	1670,21	40,87	2,04	-0,43
M1P1E2	340,35	1621,44	40,26	2,01	0,03
M1P1E3	329,02	1389,02	37,27	-1,86	0,60
M1P2E1	370,21	3424,65	58,51	2,92	0,36
M1P2E2	343,35	762,26	27,60	1,38	-0,81
M1P2E3	373,01	1272,34	35,66	-1,78	-0,11
M2P1E1	260,35	9760,85	98,94	-0,66	0,06
M2P1E2	250,56	3032,81	55,07	-2,75	0,38
M1P1E3	207,39	839,29	28,97	1,48	0,86
M2P2E1	227,79	1644,67	40,54	0,27	-0,12
M2P2E2	238,85	374,43	19,35	0,67	0,63
M2P2E3	179,28	2942,63	54,24	2,71	0,80

APÊNDICE E - Estatística descritiva dos tratamentos para a velocidade de deslocamento.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	3,96	0,01	0,11	0,05	0,80
M1P1E2	3,91	0,17	0,41	0,20	-0,66
M1P1E3	3,78	0,06	0,25	0,12	0,22
M1P2E1	3,95	0,03	0,18	0,09	2,15
M1P2E2	3,88	0,00	0,07	-0,03	1,17
M1P2E3	3,65	0,05	0,23	-0,11	1,12
M2P1E1	5,27	1,06	1,03	0,51	0,92
M2P1E2	5,46	0,26	0,51	0,25	-0,06
M1P1E3	5,98	0,09	0,30	0,15	-0,02
M2P2E1	5,41	0,01	0,12	0,06	1,10
M2P2E2	5,70	0,10	0,32	0,16	0,85
M2P2E3	4,36	0,29	0,54	-0,27	0,60

APÊNDICE F - Estatística descritiva dos tratamentos para a força de tração.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	25,46	8,43	2,90	1,45	-0,09
M1P1E2	25,18	16,08	4,01	2,00	1,12
M1P1E3	28,17	10,27	3,20	1,60	0,20
M1P2E1	28,01	12,70	3,56	1,78	-0,03
M1P2E2	27,76	1,24	1,11	0,55	0,06
M1P2E3	32,71	4,16	3,76	1,88	0,11
M2P1E1	28,99	2,26	1,50	0,75	0,10
M2P1E2	30,85	8,43	2,90	1,45	0,08
M1P1E3	28,06	1,50	1,22	0,61	0,36
M2P2E1	31,71	6,68	2,58	1,29	0,56
M2P2E2	31,24	5,26	2,29	1,14	0,60
M2P2E3	34,13	3,78	1,97	0,98	1,07

APÊNDICE G - Estatística descritiva dos tratamentos para a potência na barra

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	29,22	12,59	3,54	1,77	0,06
M1P1E2	28,90	19,27	4,38	2,19	0,81
M1P1E3	32,34	12,21	3,49	1,74	1,12
M1P2E1	32,16	17,10	4,13	-2,06	0,80
M1P2E2	31,87	2,22	4,52	0,74	0,85
M1P2E3	37,55	20,45	2,22	2,26	-1,12
M2P1E1	50,53	4,94	4,60	1,11	0,02
M2P1E2	53,78	21,22	2,46	2,30	0,05
M1P1E3	48,92	6,09	4,04	1,23	2,02
M2P2E1	55,29	16,39	4,33	2,02	1,13
M2P2E2	54,45	18,75	3,36	2,16	0,02
M2P2E3	59,50	11,31	2,56	1,61	0,05

APÊNDICE H - Estatística descritiva dos tratamentos para a área mobilizada.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	0,51	0,02	0,15	0,07	0,06
M1P1E2	0,72	0,00	0,05	0,02	0,02
M1P1E3	0,52	0,01	0,03	-0,01	-0,12
M1P2E1	0,43	0,01	0,11	0,05	0,87
M1P2E2	0,76	0,01	0,13	0,06	0,56
M1P2E3	0,42	0,00	0,09	0,04	0,98
M2P1E1	0,46	0,02	0,14	-0,07	-0,80
M2P1E2	0,52	0,00	0,04	0,02	0,06
M1P1E3	0,50	0,00	0,09	0,04	-0,03
M2P2E1	0,45	0,00	0,05	0,02	0,38
M2P2E2	0,29	0,00	0,03	-0,01	0,85
M2P2E3	0,44	0,01	0,10	0,05	-1,23

APÊNDICE I- Estatística descritiva dos tratamentos para a área de elevação.

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	0,13	0,00	0,01	-0,06	0,80
M1P1E2	0,14	0,01	0,03	-0,01	0,66
M1P1E3	0,10	0,03	0,05	0,02	0,02
M1P2E1	0,11	0,00	0,00	0,04	-0,03
M1P2E2	0,20	0,00	0,09	0,01	0,36
M1P2E3	0,17	0,00	0,02	0,03	0,24
M2P1E1	0,22	0,00	0,04	-0,01	-0,03
M2P1E2	0,21	0,00	0,07	0,02	1,12
M1P1E3	0,23	0,00	0,02	0,03	-1,89
M2P2E1	0,28	0,00	0,02	0,01	-2,03
M2P2E2	0,23	0,00	0,03	-0,08	1,56
M2P2E3	0,06	0,00	0,03	0,06	1,23

APÊNDICE J- Estatística descritiva dos tratamentos para o empolamento do solo..

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	27,64	46,14	6,79	-2,39	0,06
M1P1E2	21,70	14,05	3,74	1,87	0,02
M1P1E3	19,95	149,22	12,21	1,10	-0,03
M1P2E1	26,13	47,22	6,87	0,43	1,27
M1P2E2	26,59	57,08	7,55	0,77	2,22
M1P2E3	40,73	42,99	6,55	0,27	0,44
M2P1E1	51,87	180,31	13,44	-0,72	0,36
M2P1E2	41,86	233,74	15,28	1,64	0,80
M1P1E3	46,60	16,27	4,03	2,01	-0,04
M2P2E1	64,10	182,09	13,49	1,74	0,02
M2P2E2	78,01	132,79	11,52	0,76	-0,01
M2P2E3	16,42	54,90	7,40	-0,70	0,08

APÊNDICE L - Estatística descritiva dos tratamentos para resistência específica do solo..

Tratamentos	Média	Variância	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
M1P1E1	55,39	485,84	22,04	1,02	-0,81
M1P1E2	35,08	26,39	5,13	2,56	1,16
M1P1E3	54,19	59,33	7,70	0,85	2,22
M1P2E1	65,45	78,04	8,83	0,41	0,05
M1P2E2	37,27	94,00	9,69	-0,01	0,12
M1P2E3	78,57	420,31	20,50	0,03	0,01
M2P1E1	67,50	328,03	18,11	0,85	-0,01
M2P1E2	58,82	25,02	5,00	-1,02	-0,03
M1P1E3	56,53	48,56	6,96	2,48	0,02
M2P2E1	71,43	45,46	6,74	1,12	0,60
M2P2E2	105,78	90,86	9,53	0,06	2,54
M2P2E3	85,51	1064,71	32,69	0,02	-0,01