



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

FRANCISCO HELISON MOREIRA COUTINHO

DESEMPENHO OPERACIONAL DO CONJUNTO MECANIZADO TRATOR
IMPLEMENTO NA OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO

FORTALEZA

2018

FRANCISCO HELISON MOREIRA COUTINHO

DESEMPENHO OPERACIONAL DO CONJUNTO MECANIZADO TRATOR
IMPLEMENTO NA OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

Coorientadora: Ma. Isabela Oliveira Lima.

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)

- C896d Coutinho, Francisco Helison Moreira.
Desempenho operacional do conjunto mecanizado trator implemento na operação de escarificação /
Francisco Helison Moreira Coutinho. – 2018.
34 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. Isabela Oliveira Lima.
1. Mecanização agrícola. 2. Preparo do solo. 3. Compactação. 4. Capacidade de campo. I. Título.
CDD 630
-

FRANCISCO HELISON MOREIRA COUTINHO

DESEMPENHO OPERACIONAL DO CONJUNTO MECANIZADO TRATOR
IMPLEMENTO NA OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 19/06/2018.

BANCA EXAMINADORA

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

Eng. Ma. Isabela Oliveira Lima (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Ma. Aline Castro Praciano
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Ma. Viviane Castro dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por toda a graça e misericórdia.

Aos meus pais, Socorro e Hélio, pelo carinho, compreensão e por sempre me apoiarem nas horas difíceis.

Agradecimento especial ao professor e orientador Leonardo de Almeida Monteiro, pela oportunidade, orientação, ajuda e pelos conhecimentos adquiridos.

Ao professor Daniel Albiero, pela amizade, os ensinamentos e o incentivo durante a minha graduação.

Aos meus irmãos Samara, Halison e Hélio Neto por estarem sempre ao meu lado me apoiando e torcendo por mim.

Ao meu amigo Jean Lucas, por fazer este trabalho acontecer.

À Isabela Lima, pela orientação, paciência e apoio na realização deste trabalho.

Aos operadores de tratores do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), Sandoval Bezerra e Deleon Santiago, pela atenção e serviços prestados.

Aos colegas do grupo de pesquisa LIMA (Laboratório de Investigação de Acidentes com Maquinas Agrícolas), Walisson Silveira, Marcelo Queiroz, Elivânia Sousa, Wilson de Souza, Márcio Porfírio, Mayara Rocha, Luiz Santos, Daniele Oliveira, Leonardo Brito, Fidel Carlos, Cássia pela ajuda nas atividades de campo.

À Universidade Federal do Ceará, pela estrutura e ensino de qualidade oferecido.

Aos professores do Curso de Agronomia.

A todos familiares, amigos, colegas de curso que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

RESUMO

A mecanização agrícola trouxe muitos benefícios para a agricultura, por exemplo, possibilita aos produtores trabalhar com áreas cada vez maiores, aumenta a produtividade e reduz as atividades penosas características da agricultura. Contudo, o aumento das operações mecanizadas tem provocado alguns efeitos negativos no solo, dentre eles, a compactação. A escarificação é a operação realizada para romper camadas compactadas do solo, melhorando suas propriedades físicas. Para realizar a operação de escarificação com desempenho satisfatório, é necessário conhecer as características do solo trabalhado, adequando corretamente o conjunto trator-escarificador. Neste contexto, a profundidade de trabalho, o espaçamento entre hastes e a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado são fatores que influenciam na sua eficácia. Deste modo, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho operacional do conjunto mecanizado trator-escarificador em função da velocidade de deslocamento, do espaçamento entre hastes e da largura das ponteiros. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará. Para realização dos testes, utilizou-se um trator 4x2 TDA de 88,26 kW (120 cv) e um escarificador configurado com cinco hastes, equipado com sistema de segurança de desarme automático, rolo destorroador e discos de corte. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial (2 x 2 x 3), sendo: duas ponteiros no escarificador (estreita e alada), duas velocidades (4 e 6 km h⁻¹) e três espaçamentos entre as hastes (0,30; 0,40 e 0,49 m), na profundidade de 0,30 m, com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada parcela media 60 m², sendo 20 metros de comprimento por 3 metros de largura. Mediram-se e analisaram-se os seguintes parâmetros: velocidade de deslocamento, capacidade de campo efetiva e eficiência de campo. Ao analisar os valores obtidos, verificou-se que o aumento do espaçamento implicou no aumento da capacidade de campo efetiva e na eficiência de campo; o tipo de ponteiro não influenciou nos resultados obtidos para velocidade de deslocamento, capacidade de campo efetiva e eficiência operacional; e o uso da maior velocidade não resultou em maior eficiência de campo.

Palavras chave: Mecanização agrícola. Preparo do solo. Compactação. Capacidade de campo.

ABSTRACT

Agricultural mechanization has brought many benefits to agriculture, for example, it enables farmers to work in ever larger areas, increases productivity and reduces the painful activities characteristic of agriculture. However, the increase in mechanized operations has caused some negative effects on the soil, among them, compaction. Scarification is the operation performed to break compacted layers of soil, improving their physical properties. In order to carry out the scarification operation with satisfactory performance, it is necessary to know the characteristics of the worked soil, correctly adjusting the tractor-scarifier assembly. In this context, the depth of work, the spacing between rods and the speed of displacement of the machined assembly are factors that influence its effectiveness. In this way, the present work had the objective of evaluating the operational performance of the tractor-scarifier mechanized set as a function of the displacement velocity, the spacing between rods and the width of the tips. The experiment was conducted at the Federal University of Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará. A 4x2 TDA 88.26 kW (120 hp) tractor was used to perform the tests, and a five-steeled chisel washer equipped with an automatic trip safety system, a scraper roller and cutting discs. The experimental design was a completely randomized block design (2 x 2 x 3), consisting of two tips in the scarifier (narrow and winged), two velocities (4 and 6 km.h⁻¹) and three spacings between the stems (0.30, 0.40 and 0.49 m), at a depth of 0.30 m, with 4 replicates, totaling 48 experimental units. Each plot measures 60 m², being 20 meters long by 3 meters wide. The following parameters were measured and analyzed: displacement velocity, effective field capacity and field efficiency. When analyzing the obtained values, it was verified that the increase of the spacing implied in the increase of the effective field capacity and the field efficiency; the type of tip did not influence the results obtained for speed of displacement, effective field capacity and operational efficiency; and the use of higher speed did not result in greater field efficiency.

Keywords: Agricultural mechanization. Soil preparation. Compactation. Field capacity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista aérea da área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas.....	19
Figura 2 – Trator utilizado no experimento.....	20
Figura 3 – Rodado traseiro com lastros montados.....	21
Figura 4 – Lastros dianteiros.....	21
Figura 5 – Escarificador utilizado no experimento.....	22
Figura 6 – Ponteiras do escarificador, estreita e alada.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise descritiva das variáveis Capacidade de campo efetiva (Cce), Eficiência (Ef), Velocidade Real (VR), Área Mobilizada (AM) para cada espaçamento.....	25
Tabela 2 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento (Vr), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,30 m (E1).....	26
Tabela 3 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento (Vr), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,40 m (E2).....	27
Tabela 4 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento (Vr), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,49 m (E3).....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAE	American Society of Agricultural Engineers
DENA	Departamento de Engenharia Agrícola
LIMA	Laboratório de investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas
TDA	Tração dianteira auxiliar
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO.....	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	Tratores agrícolas.....	12
3.2	Desempenho operacional de máquinas agrícolas.....	13
3.4	Preparo do solo.....	14
3.5	Compactação.....	15
3.6	Escarificação e subsolagem.....	16
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1	Área experimental.....	19
4.2	Trator.....	20
4.3	Escarificador.....	22
4.4	Velocidade de deslocamento.....	23
4.5	Capacidade de campo teórica.....	23
4.6	Capacidade de campo efetiva.....	24
4.7	Eficiência de campo.....	24
4.8	Delineamento experimental.....	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
6	CONCLUSÕES.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial provoca o aumento da demanda de alimentos, energia e fibras. Para suprir esta demanda, se tornam necessárias a expansão de áreas de cultivo e o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem maiores produtividades.

A mecanização das atividades agrícolas possibilita aos produtores trabalhar com áreas cada vez maiores, aumentando a produtividade e reduzindo o esforço físico humano.

A crescente utilização de tratores trouxe muitos benefícios para o setor agrícola. Porém alguns aspectos precisam ser observados para que as operações não proporcionem efeitos adversos às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

O aumento do tráfego de máquinas pesadas sobre o solo, regulagens de implementos inadequadas, má distribuição de carga nos eixos do trator, o baixo ou o elevado teor de umidade do solo no momento do preparo contribuem para que ocorram alterações na estrutura do solo que podem resultar em danos como a compactação e a erosão.

A escarificação é uma operação de preparo periódico do solo que proporciona rompimento de camadas de impedimento, aumenta a porosidade, melhora a infiltração e o armazenamento de água no solo e favorece o desenvolvimento das raízes.

Para realizar a operação de escarificação é necessário conhecer as características do solo trabalhado, tais como a compactação existente, teor de umidade, cobertura da superfície, textura e estrutura. Além disso, para se obter um desempenho satisfatório do conjunto mecanizado trator-implemento, deve-se realizar regulagens e adequações no equipamento, como distribuição de cargas nos eixos do trator, pressão de insulflagem nos pneus, velocidade de trabalho, espaçamento entre hastes, profundidade de trabalho dimensões e formato das hastes, potência necessária, etc.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho operacional do conjunto mecanizado trator-escarificador em função da velocidade, do espaçamento entre hastes e da largura das ponteiros analisando os seguintes parâmetros: velocidade de deslocamento real, capacidade de campo efetiva e eficiência de campo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho operacional do conjunto mecanizado trator-escarificador em função da velocidade de deslocamento espaçamento entre hastes e largura das ponteiras.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado trator-escarificador.
- Avaliar a capacidade de campo efetiva.
- Avaliar a eficiência de campo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tratores agrícolas

Mialhe (1980) definiu o trator agrícola como uma máquina autopropelida provida de meios que o permitem tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para os órgãos ativos de máquinas agrícolas e implementos em que a energia gerada pela combustão do diesel é transformada em energia mecânica no motor.

Schlosser (2001) define o trator agrícola como uma unidade móvel de potência, composta de motor, transmissão, sistema de direção e de sustentação e componentes complementares, em que se acoplam implementos e máquinas com diversas funções. É uma máquina composta de mecanismos complexos capazes de transformar energia química em trabalho implementos.

A força de tração dos tratores depende fundamentalmente das características dos rodados e do solo agrícola, devendo ser suficiente para vencer a resistência oferecida para a movimentação do próprio trator e também deslocar a carga imposta à barra de tração nas velocidades requeridas para o trabalho (MIALHE, 1980).

De acordo com Frantz (2011), pode-se definir tração como uma força proveniente da interação existente entre um dispositivo de autopropulsão e o meio no qual este age. Dessa forma, a tração desenvolvida pelos tratores corresponde a força gerada a partir da interação entre os rodados e o solo, e deve ser suficiente para vencer a resistência ao deslocamento do trator e ainda tracionar cargas impostas à barra de tração.

Segundo Monteiro e Albiero (2013), o trator agrícola é a principal fonte de potência no meio rural contribuindo para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas de produção de alimentos, fibras e também de fontes alternativas de energias renováveis como, por exemplo, o álcool e o biodiesel.

Segundo Rinaldi (2011), a mecanização agrícola brasileira teve o seu grande desenvolvimento a partir de 1959 com o trabalho manual e semi-mecanizado sendo substituído gradativamente pelo mecanizado. O trator agrícola, pela sua versatilidade na execução de inúmeras tarefas, proporcionou esse desenvolvimento, servindo como fonte de potência e tração de implementos agrícolas.

Santos *et al.* (2004), consideram que o trator agrícola tem sido a base da mecanização agrícola moderna e responsável pelo alto padrão de desenvolvimento alcançado pela agricultura mundial nos últimos anos.

Ao longo da evolução dos tratores agrícolas diversas modificações foram realizadas com o objetivo de melhorar o desempenho em tração. Uma delas foi a introdução nos tratores convencionais da tração dianteira auxiliar (TDA), com isso, o eixo dianteiro passou a ser equipado com pneus motrizes tornando-se possível escolher de acordo com o trabalho a ser executado, se o mesmo desenvolveria ou não tração (FEITOSA, 2014).

3.2 Desempenho Operacional de Máquinas Agrícolas

Mialhe (1974) definiu desempenho operacional um complexo conjunto de definem, em termos quali-quantitativos, os atributos da maquinaria agrícola quando executam operações sob determinadas condições de trabalho.

A utilização correta do conjunto trator-implemento pode gerar significativa economia de consumo de energia, proporcionando redução de custo operacional e maior lucro para o produtor rural (MONTEIRO e ALBIERO, 2013). Bianchini *et al.* (1999) afirmam que adequação da velocidade pode levar a uma alta capacidade operacional e qualidade elevada do trabalho realizado.

O desempenho operacional de máquinas agrícolas está sujeito a alterações devido a fatores como carga a ser tracionada e a velocidade de trabalho, podendo interferir diretamente nos processos agrícolas mecanizados. A melhor forma de obter essas respostas é por meio de ensaios de desempenho operacional (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Avaliar o desempenho energético e operacional de conjuntos mecanizados é uma tarefa bastante complexa, devido às inúmeras variáveis que devem ser analisadas dentro de uma área de influência bastante ampla (RUSSINI, 2012).

A expansão da agricultura brasileira nas últimas décadas tem impulsionado os fabricantes de máquinas e implementos agrícolas a incorporar novas tecnologias para aumentar o desempenho operacional desses equipamentos, houve um aumento significativo nas dimensões e também acréscimo na potência dos tratores (LOPES *et al.*, 2013).

Para Drescher *et al.*(2011) o adensamento do solo nas áreas agrícolas pode interferir diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas promovendo uma

ampliação na demanda de potência para tração. Montanha *et al.* (2012) afirmam que o uso de máquinas e tratores agrícolas é requerido para a mobilização do solo e o consumo energético desses equipamentos engloba um dos custos mais elevados nas operações agrícolas das propriedades rurais.

Algumas variáveis são citadas por Gamero e Lanças (1996) para avaliar o desempenho operacional de máquinas de preparo periódico do solo, dentre elas estão: largura de corte (teórica, efetiva e operacional) velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, consumo específico operacional, patinagem das rodas motrizes, capacidade de campo efetiva.

A seleção do conjunto mecanizado está cada vez mais difícil para o agricultor, pois são oferecidos, ao consumidor, diversas marcas e modelos contendo inúmeras inovações tecnológicas. Porém, esta diversidade, muitas vezes, pode dificultar a escolha pelo agricultor em relação ao aspecto operacional, econômico e financeiro (RINALDI, 2011).

3.3 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 para otimizar as condições de germinação e emergência de plântulas, bem como o seu estabelecimento (FURLANI; LOPES; SILVA, 2005).

As operações de preparo do solo estão entre as técnicas que frequentemente melhoram as produções das culturas, para isso, devem ser adaptadas às condições específicas para um distinto sistema de produção (FURLANI, 2000).

Os atributos físicos do solo podem se alterar de forma temporária ou permanente em função do manejo adotado. Este tipo de alteração pode influenciar o desenvolvimento das plantas de forma benéfica ou prejudicial. (BARROS, 2017)

Existem uma quantidade razoável de equipamentos disponíveis e uma gama de regulagens que cada implemento dispõe para se adequar às situações e às necessidades. O conhecimento destes aspectos, de seus efeitos, dos objetivos, das condições em que se realizarão os trabalhos e a forma de realizá-los, auxiliará no sucesso das safras sucessivas e na preservação do solo (RALISCH, 1999). Quando feito de forma adequada, o preparo do solo

contribui para controlar plantas daninhas e melhorar as propriedades físicas do solo (ZAFFARONI *et al.*, 1991).

Existem diversos sistemas de preparo do solo, os quais são enquadrados em categorias definidas como: convencional, que é a combinação de duas ou mais operações; reduzido, uma única operação, e; semeadura direta, ou seja, a semeadura em solo não preparado (ASAE, 1997).

Toda operação agrícola altera as condições do solo em maior ou menor intensidade, dependendo do estado inicial do mesmo e das características das máquinas. Entretanto, a importância dessas alterações depende, em grande parte, da reação das plantas ao novo ambiente estabelecido para seu desenvolvimento (ARAÚJO, 2004). Em muitos casos, a utilização de práticas de preparo do solo é mais influenciada pela tradição e intuição, do que por uma análise racional (GAMERO, 1991).

A escolha de um sistema de preparo é extremamente complexa, principalmente devido às variações dos tipos de solos, teores de água, coberturas vegetais sobre a superfície, culturas a serem implantadas, níveis tecnológicos, método de conservação, entre outras (FURLANI, 2000). No entanto, o preparo mais adequado deve ser decisivo para a escolha dos equipamentos a serem empregados e não o contrário (GAMERO *et al.*, 1997).

Segundo Vasquez e De Maria (2003), as operações de preparo do solo, como a escarificação, criam um micro relevo na superfície, sendo o índice de rugosidade superficial do mesmo, o critério mais utilizado para a sua determinação. Os mesmos autores ressaltam que essas alterações afetam o escoamento superficial e o armazenamento temporal de água. A escarificação esporádica do solo sob plantio direto tem se apresentado como uma alternativa para minimizar os efeitos da compactação, especificamente em períodos de deficiência hídrica (CAMARA e KLEIN, 2005)

3.4 Compactação do solo

As práticas de manejo do solo provocam alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, significando perda de qualidade e afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (NIERO *et al.*, 2010).

As alterações na qualidade física do solo decorrentes do seu uso e manejo têm sido quantificadas utilizando-se diferentes propriedades físicas relacionadas com a forma e a

estabilidade estrutural do solo (ARAÚJO *et al.*, 2004) entre as quais destacam-se a densidade, o volume de poros e a resistência do solo à penetração.

Secco *et al.* (2004) afirmam que a pressão causada pelo tráfego de máquinas e implementos sobre o solo vem causando modificações na densidade do solo, onde essas modificações são difíceis de serem analisadas e ocorrem de forma lenta no solo, como por exemplo, a eluviação de argilas.

A compactação é uma das principais causas de degradação física do solo (IMHOFF, 2004). Em solos compactados ocorre alteração da estrutura, da densidade do solo, da porosidade total, do tamanho e continuidade dos poros (DEXTER, 1988; HORN E LEBERT, 1994). Em decorrência da modificação destes atributos, o movimento e o armazenamento da água, ar e calor também podem ser alterados, tendo sido verificados aumentos nas perdas de nutrientes por volatilização e lixiviação (HAKANSSON e VOORHEES, 1998).

A compactação do solo caracteriza-se pela redução do volume de solos não saturados em consequência da aplicação de pressões externas, causadas principalmente pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (LIMA, 2004).

O processo de compactação pode ocorrer de várias formas, mas tem se intensificado principalmente pelo tráfego de máquinas de peso cada vez mais elevado. Este aumento de peso das máquinas não foi 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).

A compactação da camada superficial provoca alterações nas propriedades hídricas do solo, como a redução na capacidade de infiltração de água do solo, podendo resultar em aumento do escoamento superficial e erosão (KAYOMBO e LAL, 1994).

Alakukku e Elomen (1994) afirmam que a compactação do solo tem se destacado em nível mundial como sendo um dos fatores limitantes da qualidade física das terras agrícolas, prejudicando a obtenção de maiores índices de produtividade.

3.5 Escarificação e subsolagem

Os escarificador e subsoladores são implementos cujos órgãos ativos atuam sob a superfície do solo para promover a desagregação de camadas compactadas, a fim de facilitar a

penetração de raízes das culturas e da água para as camadas mais profundas do solo (BALASTREIRE, 1987). Estes implementos preparam o solo sem revolvê-lo. (ORTIZ-CAÑAVATE, 1995).

A escarificação e subsolagem diferenciam-se pela profundidade de trabalho, o mesmo equipamento é utilizado para estas duas operações, sendo necessária apenas a adequação do implemento à profundidade ideal para cada operação. (MASQUEZ, 2004). De acordo com Machado *et. al* (2005), a operação de 0,05 a 0,15 m de profundidade é denominada como escarificação superficial, de 0,15 a 0,30 m, escarificação profunda. A subsolagem caracteriza-se pela realização do preparo do solo a mais de 0,30 m de profundidade (SILVEIRA, 1988).

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; também é fundamental o conhecimento das características geométricas dos subsistemas do equipamento para que a descompactação do solo seja efetuada eficientemente, as características do sistema de semeadura direta sejam mantidas e haja uma demanda energética coerente com a operação.

O uso de implementos de hastes, como os escarificadores e subsoladores para descompactação do solo, produz superfícies mais rugosas, e seu objetivo é aumentar a porosidade, reduzir a densidade do solo e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (KOCHHANN e DENARDIN, 2000).

O preparo com escarificador ou subsolador promove o arrasto de hastes que rompem o solo nos pontos de fraqueza da sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente durante a operação de preparo do solo, não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície (MEDEIROS, 2009).

Para Lanças (2002), o escarificador e o subsolador têm o mesmo princípio de rompimento do solo por propagação das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem, mas sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou interfaces dos seus agregados, permitindo que os mesmos permaneçam praticamente inalteráveis ou completamente intactos.

Embora recomendada frequentemente pelos técnicos, o processo de escarificação é de elevada demanda de potência de maquinário, alto consumo de combustível e de tempo,

portanto dever ser aplicada somente onde a compactação foi diagnosticada (GIRARDELLO *et al.*, 2011). Nesse contexto, a escarificação destaca-se como uma boa alternativa, desde que recomendada após um diagnóstico confirmando as áreas compactadas.

De acordo com trabalhos realizados por Abreu, Reichert e Reinert (2004), ocorreu uma maior resistência do solo a penetração nos tratamentos sem preparo do solo, enquanto que nos tratamentos com solo escarificado a resistência do solo a penetração e a densidade do solo foram menores. A escarificação esporádica do solo tem sido eficiente em reduzir os efeitos imediatos da compactação (Reichert *et al.*, 2009).

Várias pesquisas têm sido realizadas com a escarificação mecânica para avaliar seus efeitos sobre a compactação e sua longevidade. Girardello *et al.* (2014) avaliaram a eficiência de escarificador mecânico na redução da resistência do solo a penetração e encontraram redução nos valores. Drescher *et al.* (2016), avaliando o tempo de duração escarificação mecânica, em sistema plantio direto observaram menor resistência do solo a penetração até 18 meses após a escarificação.

Secco e Reinert (1997) concluíram que a escarificação têm um efeito residual de até 10 meses após a operação. Perante esses resultados, verifica-se a necessidade de mais pesquisas, em campo, quanto ao nível e, ou, estado de compactação que alteram o rendimento das culturas, bem como determinar a época e as práticas para realizar intervenções mecânicas na tentativa de amenizar os efeitos da compactação (MAZURANA *et al.*, 2011).

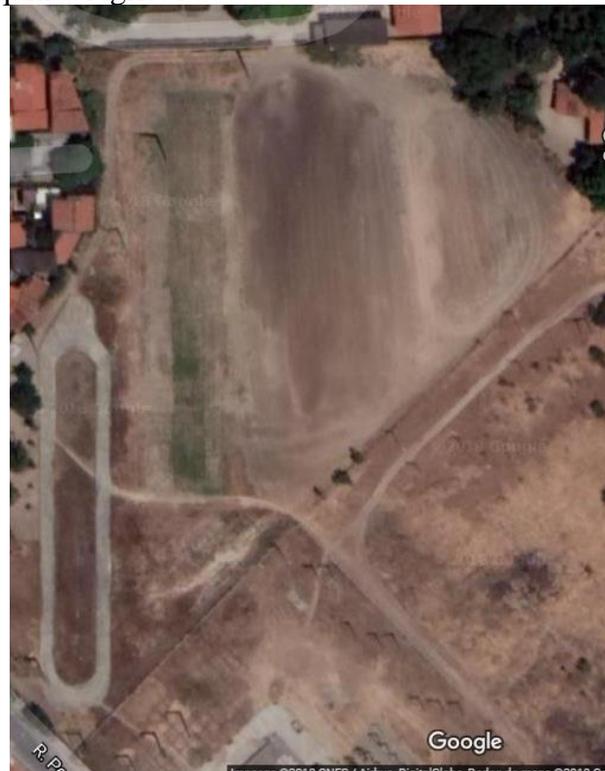
O emprego de escarificação, no preparo primário do solo, vem se expandindo paulatinamente. Esta operação agrícola, outrora utilizada de forma mais corretiva e para ser intercalada nas operações de preparo do solo, passaram a substituir os arados em manejos conservacionistas, a exemplo do cultivo mínimo (RALISCH e FURLANI JR., 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do LIMA (Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas) pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Ceará, localizado no Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, nas coordenadas geodésicas: latitude 3°44'S, longitude 38°34'W e altitude de 19,5 m (Figura 1).

Figura 1: Vista aérea da área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas.



Fonte: Google Maps, 2018.

Conforme a classificação de Köppen (1923), o clima da região do estudo é definido como Aw', que indica tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono e temperatura média em todos os meses superiores a 18°C. O solo da área é classificado como argissolo vermelho-amarelo, de classe textural franco

arenoso, com aproximadamente 82,90% de areia, 10,60% de argila e 6,40% de silte (QUEIROZ *et al.*, 2017).

A área usada no experimento foi dividida em 48 parcelas, foram usadas estacas de madeira para delimita-las. Cada parcela media 60 m², sendo 20 metros de comprimento por 3 metros de largura. Antes de cada parcela, havia espaço para estabilização da velocidade e da profundidade de operação do escarificador.

4.2 Trator

Para realização dos testes, utilizou-se um trator VALTRA[®], modelo BM 120 4x2 TDA (figura 2) de 88,26 kW (120 cv) equipado com pneus diagonais, com pressão de insuflação de 124 kPa e 152 kPa na dianteira e traseira, respectivamente.

Figura 2: Trator utilizado no experimento.



Fonte: O autor, 2018.

Foram acrescentados 5 lastros de 80 kg em cada rodado traseiro (figura 3) e 10 lastros de 37,5 kg na dianteira (figura 4), além do preenchimento de 75% do volume interno dos pneus dianteiros e traseiros com água, que acrescentou 592 kg de lastragem líquida. O peso do trator somados com a lastragem sólida e líquida totalizou 6707 kg, proporcionando a relação peso-potência de 55,9 kg.cv⁻¹. A distribuição de peso foi de 35% do peso no eixo dianteiro e 65% no eixo traseiro, que é a recomendada para operações com implementos de arrasto.

Figura 3: Rodado traseiro com lastros montados.



Fonte: O autor, 2018

Figura 4: lastros dianteiros.



Fonte: O autor, 2018.

4.3 Escarificador

Utilizou-se o escarificador modelo AST/MATIC 450 fabricado pela TATU Marchesan® (figura 5), com massa total de 1560 kg, configurado com cinco hastes parabólicas, equipado com sistema de segurança de desarme automático, rolo destorroador e discos de corte.

Figura 5: Escarificador utilizado no experimento.



Fonte: o autor, 2018.

A profundidade é controlada pelo acionamento dos cilindros que atuam sobre os pneus, utilizando anéis que limitam o curso das hastes do cilindro. Foram utilizadas dois tipos de ponteira: estreita e alada (figura 6).

Figura 6 - Ponteiras do escarificador, estreita (à esquerda) e alada (à direita).



Fonte: o autor, 2018.

4.4 Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi avaliada de modo indireto, dividindo o tamanho da parcela pelo tempo necessário para percorrê-la, medido por cronômetro, sendo acionado e desligado de acordo com a passagem do rodado dianteiro do trator lateralmente as estacas que delimitavam as parcelas conforme Equação 1.

$$V = 3,6 \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que:

V = velocidade média (km h⁻¹);

Δs = espaço percorrido (m);

Δt = tempo decorrido (s);

3,6 = fator de conversão para km h⁻¹.

4.5 Capacidade de campo teórica

A capacidade de campo teórica (CcT) foi determinada em função da largura de trabalho do real subsolador que corresponde a distância entre as hastes mais próximas das extremidades laterais do implemento, obtida por medição com trena e a velocidade máxima que o implemento que o implemento, teoricamente, pode operar (equação 2).

As larguras de trabalho foram de 1,20 m, 1,60 m e 1,96 m e o número de hastes manteve-se o mesmo, com a mesma profundidade de trabalho, variando-se o espaçamento e as relações de espaçamento entre hastes/profundidade de trabalho. A velocidade de operação recomendada pelo fabricante é de no máximo 6 km h⁻¹.

$$C_c T = \frac{L V}{10 P} \quad (2)$$

Em que:

CcT= Capacidade de campo teórica (ha h⁻¹);

L = Largura máxima de trabalho do escarificador (m);

V= Velocidade máxima de operação (km h⁻¹);

10 = fator de conversão para ha h⁻¹

P = número de passadas.

4.6 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva - CcE - será obtida em função da largura de trabalho, velocidade de deslocamento em km h⁻¹ e eficiência da operação calculada por meio da Equação 3. A CcE diferencia-se da CcT por incluir o efeito de certos fatores de campo como, por exemplo, a utilização parcial da largura de corte, uso de velocidades inferiores às aquelas que teoricamente poderia desenvolver (MIALHE, 1974).

$$C_c E = \frac{L_u V_r}{10 P} \quad (3)$$

Em que:

CcE = capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

V_r = velocidade real de deslocamento (km h⁻¹);

L_u = largura de trabalho do escarificador (m);

10 = fator de conversão para ha h⁻¹;

P = número de passadas.

4.7 Eficiência de campo

A eficiência de campo (Ec) é a relação entre a capacidade de campo teórica e a capacidade de campo efetiva (Equação 4). É um parâmetro que indica as perdas operacionais provenientes do não aproveitamento integral da capacidade operacional da maquinaria.

$$E_c = \frac{C_c E}{C_c T} \cdot 100 \quad (4)$$

4.8 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial (2 x 2 x 3), sendo: duas ponteiras no subsolador (estreita e alada), duas velocidades (4 e 6 km h⁻¹) e três espaçamentos entre as ponteiras (0,30; 0,40 e 0,49 m), na profundidade de 0,30 m, com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, verificou-se a análise descritiva das variáveis capacidade de campo efetiva (Cce), eficiência (Ef), velocidade real de deslocamento (Vr), área mobilizada (Am), de acordo com os espaçamentos estabelecidos, referente à média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valor máximo e valor mínimo.

Tabela 1. Análise descritiva das variáveis capacidade de campo efetiva (CcE), eficiência (Ef), velocidade real de deslocamento(Vr), área mobilizada (Am) para cada espaçamento.

Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância	CV	Assimetria	Curtose	Máx	Mín
Espaçamento 0,30 m									
CcE	0,5581	0,4895	0,1049	0,0110	18,79	0,61	-1,21	0,7586	0,4477
Ef	0,4745	0,4163	0,0892	0,0080	18,79	0,61	-1,21	0,6450	0,3807
Vr	4,651	4,079	0,874	0,764	18,79	0,61	-1,21	6,321	3,731
AM	0,4666	0,4164	0,1261	0,0159	27,03	0,66	-0,33	0,7095	0,2790
Espaçamento 0,40 m									
CcE	0,7452	0,7238	0,1352	0,0183	18,4	0,20	-1,41	0,9846	0,5434
Ef	0,6337	0,6155	0,1150	0,0132	18,4	0,20	-1,41	0,8373	0,4621
Vr	4,658	4,524	0,845	0,714	18,4	0,20	-1,41	6,154	3,396
AM	0,5765	0,5995	0,2052	0,0421	35,59	-0,15	-1,11	0,9060	0,2880
Espaçamento 0,49 m									
CcE	0,8728	0,7734	0,1950	0,0380	22,35	0,87	-0,80	1,2488	0,6720
Ef	0,7421	0,6577	0,1659	0,0275	22,35	0,87	-0,80	1,0619	0,5714
Vr	4,453	3,946	0,995	0,990	22,35	0,87	-0,80	6,372	3,429
AM	0,4750	0,4749	0,0950	0,0090	20,00	-0,40	2,14	0,6800	0,2505

Os coeficientes de simetria e curtose para os fatores avaliados encontram-se dentro dos valores estabelecidos por Oliveira (2010), em que o mesmo afirma que se esses coeficientes estiverem dentro do intervalo de -3 e 3 os dados apresentaram distribuição normal, considerando-se assim que houve normalidade nos dados avaliados para a capacidade operacional do conjunto trator-escarificador.

A apresentação geral dos resultados teve o critério de relacionar o valor médio de cada variável comparativa nas combinações de velocidade e tipo de ponteira para cada condição de espaçamento entre hastes. Esses resultados encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4 e cada valor representa uma média de quatro observações.

Tabela 2 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento (V_r), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,30 m (E1).

Combinação (velocidade x tipo de ponteira)	V_r (km h^{-1})	CcT (ha h^{-1})	CcE (ha h^{-1})	Ec (%)
V1P1	3,96	0,784	0,4757 b	60,67 a
V1P2	3,95	0,784	0,4740 b	60,46 a
V2P1	5,27	1,176	0,6329 a	53,81 a
V2P2	5,41	1,176	0,6498 a	55,25 a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. V1 – marcha L2 a 2000 rpm: 4 km h^{-1} ; V2 – marcha L3 a 2200 rpm 6 km h^{-1} ; P1 – ponteira estreita; P2 – ponteira alada.

Analisando-se a Tabela 2, referente à condição de espaçamento de 0,30 m entre hastes, observa-se que há um aumento significativo na capacidade de campo efetiva quando a operação é realizada a 6 km.h^{-1} . Não houve diferença significativa na eficiência de campo entre os tratamentos quando se utilizou o espaçamento entre hastes de 0,30 m.

Gabriel Filho *et al.* (2010), constatou redução nos valores médios de velocidade obtidos com trator tracionando uma carga de 25 kN em relação aos valores apresentados no painel do trator. Os mesmos autores observaram que ao elevar a velocidade do trator de 3,5 km h^{-1} para 6,0 km h^{-1} não foram obtidas variações significativas na patinagem, mantendo-a em torno de 15%.

Gamero (2008), ao analisar o desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral, observou que para as velocidades previamente estabelecidas para a operação do trator de 2,30; 3,20; e 4,60 km h^{-1} , as velocidades reais de deslocamento para as respectivas marchas foram de 1,72; 2,39; e 3,35 km h^{-1} , ocorrendo um decréscimo percentual de 25,2; 25,3 e 37,2%, respectivamente. O mesmo autor afirma que este é um efeito direto do aumento do patinamento dos rodados do trator quando da realização da operação de subsolagem.

Tabela 3 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento (V_r), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,40 m (E2).

Combinação (velocidade x tipo de ponteira)	V_r (km h^{-1})	CcT (ha h^{-1})	CcE (ha h^{-1})	Ec (%)
V1P1	3,91	0,784	0,6256 b	79,80 a
V1P2	3,88	0,784	0,6207 b	79,17 a
V2P1	5,47	1,176	0,8749 a	74,40 a
V2P2	5,37	1,176	0,9130 a	77,64 a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. V1 – marcha L2 a 2000 rpm: 4 km h^{-1} ; V2 – marcha L3 a 2200 rpm: 6 km h^{-1} ; P1 – ponteira estreita; P2 – ponteira alada.

Analisando-se a Tabela 3, observa-se que a velocidade de 6 km.h^{-1} combinada com ambas as ponteiras proporciona um melhores resultados nos parâmetros CcE e Ec para o espaçamento de 0,40 m.

Para o espaçamento de 0,40 m, a largura da ponteira não influenciou nos parâmetros V_r , CcE e Ec .

Grotta *et al.* (2004) ao avaliar o desempenho de um escarificador em função da velocidade e do espaçamento entre hastes constatou que o fator espaçamento influenciou positivamente as variáveis área mobilizada e capacidade de campo efetiva. Ocorreu interação significativa entre os fatores espaçamento e velocidade para a variável capacidade de campo efetiva, corroborando com os resultados aqui apresentados.

Tabela 4 - Resultados médios das variáveis velocidade real de deslocamento(V_r), capacidade de campo teórico (CcT), capacidade de campo efetiva (CcE) e eficiência de Campo (Ec) para a condição de espaçamento entre hastes de 0,49 m (E3).

Combinação (velocidade x tipo de ponteira)	V_r (km h^{-1})	CcT (ha h^{-1})	CcE (ha h^{-1})	Ec (%)
V1P1	3,78	0,784	0,7413 bc	94,55 a
V1P2	3,69	0,784	0,7223 c	92,14 a
V2P1	5,98	1,176	1,173 a	99,72 a
V2P2	4,36	1,176	0,8547 b	72,72 b

Médias seguidas de mesma letra nas colunas ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. V1 – marcha L2 a 2000 rpm: 4 km h^{-1} ; V2 – marcha L3 a 2200 rpm: 6 km h^{-1} ; P1 – ponteira estreita; P2 – ponteira alada.

Analisando a Tabela 4, constata-se que o espaçamento de 0,49 m entre hastes proporcionou maior capacidade de campo efetiva e maior eficiência de campo em relação aos

demais espaçamentos, com exceção para o tratamento com velocidade de 6 km h^{-1} e ponteira alada cuja velocidade de deslocamento real sofreu maior variação em relação à velocidade nominal do trator para a marcha L3 a 2200 rpm, conseqüentemente os valores de capacidade de campo efetiva e eficiência de campo deste tratamento ficaram abaixo do obtido nos demais para o espaçamento de 0,49 m, que pode ter ocorrido devido ao maior esforço demandado pela ponteira alada ao se utilizar maiores espaçamentos.

6 CONCLUSÕES

O aumento do espaçamento implicou no aumento da capacidade de campo efetiva e na eficiência de campo.

O uso da velocidade de 6 km h^{-1} resultou em maior capacidade de campo e maior eficiência de campo.

O espaçamento de 0,30 m proporcionou menor capacidade de campo efetiva e baixa eficiência de campo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.36, p.141-152, 1994.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: _____. **ASAE Standards 1997: Standards Engineering Practices Data**, St. Joseph, 1997. p.254-75.
- ARAÚJO, A. G. **Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa**. 2004. 224 f. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. Ed. Manole, São Paulo, 310 p. 1987.
- BARROS, L. R. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- BIANCHINI, *et al.* Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.395-401, 1999.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res.**, 11:199-238, 1988.
- DRESCHER, M. S. *et al.* Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.
- DRESCHER, M. S. *et al.* Persistência do efeito de intervenções mecânicas para descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.713-1722, 2011.
- FEITOSA, J. R. **Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo**. 2014. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado e duplo em um trator agrícola**. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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

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

GABRIEL FILHO, A. *et al.* 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.

GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“Paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

GAMERO, C. A. *et al.* Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997.

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

GAMERO, C. A. **Enxada rotativa: desempenho em função do tipo de lâmina, do número de pares de lâminas por flange, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento**. 1991. 227 f. Tese (Livre Docência em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

GIRARDELLO, V. C.; *et al.* T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GIRARDELLO, V. C. *et al.* Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

- GROTTA, D. C. *et al.* Subsolador: avaliação do desempenho em função da velocidade de trabalho despaçamento entre hastes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2004.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Chapter on soil compaction. In: LAL, R. *et al.* **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, 1998. p. 167-179.
- HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.45-69.
- IMHOFF, S. *et al.* Quantificação das pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG vol. 25, p. 11-18, 2001.
- JACOMINE, P. K. T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS, 1996. p. 95-133.
- KAYOMBO, B. & LAL, R. Responses of tropical crops to soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.287-316.
- KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 2000. 36p.
- KOEPPEL, W. **Das geographische System der Klimate, Handbuch der Klimatologie** [The Geographical System of the Climate, Handbook of Climatology]. Borntraeger, Berlin, Bd, v. 1, 1-44, 1936.
- LANÇAS, K. P. Subsolação ou escarificação. **Cultivar Máquinas**. Pelotas, v. 1, n. 14, p. 34-37, 2002.
- LIMA, C. L. R. *et al.* Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 28, p. 945-951, 2004.
- MACHADO, A. L. T. *et al.* **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2 ed. Pelotas. Editora Universidade Federal de Pelotas. 2005. 253p.
- MARQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. 1 ed., p.93-267. Madrid, 2004.
- MAZURANA, M.; *et al.*, 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.
- MEDEIROS, G. A. *et al.* Influência do sistema de preparo e manejo de um latossolo vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. São Paulo. **Geociências**, v.28, n.04, p. 453-465, 2009.

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

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MONTANHA, G. K., *et al.* Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando equipamento canteirador. **Energia na Agricultura**. Botucatu, v.27, p.44-59, 2012.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D. **Segurança na operação com máquinas agrícolas**. Fortaleza: Imprensa Universitária da UFC, 2013. 124 p.

NIERO, L. A. C. *et al.* Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271 -1282, 2010.

OLIVEIRA, J. U. C. de. **Estatística: uma nova abordagem**. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.

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

QUEIROZ, R. F. *et al.* Cargas no depósito de fertilizante de uma semeadora-adubadora e desempenho operacional. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48 n. 2. p 271-277, 2017.

RALISCH, R.; FURLANI JR., J. A. Avaliação comparativa do desempenho de dois tipos de escarificadores e um arado de discos, trabalhando em Latossolo Roxo. **Engenharia Agrícola**, v.16, p.93-102, 2001.

RALISCH, R. **Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de manejo de solo na descompactação de um Latossolo Roxo**. Botucatu, 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

REICHERT, J. M. *et al.* Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

RINALDI, P. C. N. **Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil**. Viçosa, 2011. 106f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

RUSSINI, A. Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico. **Doctoralthesis**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BÓRMIO, M. F. Conforto térmico: uma avaliação em tratores sem cabine. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, 2004.

SECCO, D. *et al.* Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 28, p. 797-804, 2004.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 16, p. 52-61, 1997.

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

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 2001 63p. (Série técnica II).

VASQUEZ, E. V.; DE MARIA, I. C. Influencia del laboreo sobre la rugosidad del suelo y la retención de agua en un Ferrasol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Resumo expandido... Ribeirão Preto, **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1CD-ROM.

ZAFFARONI, E. *et al.* Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 99-104, 1991.