

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA**

**DESEMPENHO DE ELEMENTOS
DESCOMPACTADORES PARA ESCARIFICAÇÃO EM
SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mateus Potrich Bellé

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**DESEMPENHO DE ELEMENTOS DESCOMPACTADORES
PARA ESCARIFICAÇÃO EM SISTEMA DE SEMEADURA
DIRETA**

Mateus Potrich Bellé

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng.

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Potrich Bellé, Mateus

DESEMPENHO DE ELEMENTOS DESCOMPACTADORES PARA
ESCARIFICAÇÃO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA
/ Mateus Potrich Bellé.-2013.

82 f.; 30cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço

Coorientadores: Oni Reasilvia de Almeida Oliveira

Sichonany, Reges Durigon

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Engenharia agrícola 2. Máquinas agrícolas 3. Escarificador 4. Preparo conservacionista do solo 5. Elementos descompactadores I. dos Santos Alonço, Airton II. Reasilvia de Almeida Oliveira Sichonany, Oni III. Durigon, Reges IV. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Mateus Potrich Bellé. A reprodução de partes ou do todo este trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

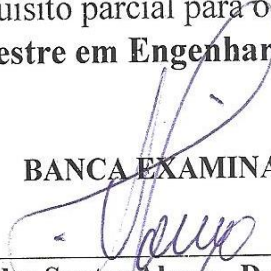
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**DESEMPENHO DE ELEMENTOS DESCOMPACTADORES PARA
ESCARIFICAÇÃO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

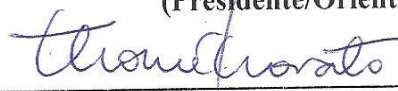
elaborada por
Mateus Potrich Bellé

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

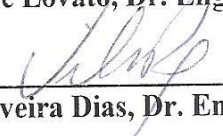
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng. Agrícola - UFSM
(Presidente/Orientador)



Prof. Thomé Lovato, Dr. Eng. Agrônomo -- UFSM



Prof. Vilnei de Oliveira Dias, Dr. Eng. Agrônomo - UNIPAMPA

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2013.

DEDICATÓRIA

*A minha querida mãe, **Juleica**, que nunca mediu esforços e sempre me apoiou na busca pelo conhecimento, ao meu pai, **Arcillo**, pelo exemplo de honestidade, caráter e trabalho durante sua vida, sempre um espelho para mim, à minha irmã, **Luziane**, pelas mensagens de apoio e motivação, sem o apoio de vocês nunca teria ultrapassado mais esse degrau, com todo meu amor e carinho, a vocês dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e por tudo o que ele me proporcionou de bom.

Aos meus pais, Arcillo Cancian Bellé e Juleica Terezinha Potrich Bellé, que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar, pelo carinho, motivação e compreensão em todos os momentos de minha vida. A minha irmã Luziane Potrich Bellé, que sempre me apoiou e me deu força para seguir em frente na busca pelo conhecimento.

A minha namorada Natália Raguzzoni Cancian, pelo apoio e motivação, pelo amor e carinho sempre presentes e demonstrados no olhar e nos seus gestos.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, oportunidade e pelo vasto conhecimento a mim oferecido.

Ao meu orientador, professor Airton dos Santos Alonço, pelo carinho, respeito, compreensão, paciência, por ter confiado em mim sem mesmo me conhecer, nunca me esquecerei dos seus ensinamentos, companheirismo e amizade.

As pessoas que fazem parte do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), em especial ao José Rene Freitas Gassen, pelo legado que deixou para mim e para o LASERG, sem os seus ensinamentos eu não teria alcançado esse objetivo.

Aos amigos e colegas Tiago R. Francetto, por ser meu braço direito nessa empreitada, Dauto P. Carpes, Cristian J. Franck e Otávio D. da C. Machado, Lauri J. Moreira, Alexandre Altmann, Paulo R. Bedin, Mariana Rodrigues, Lucas Barros de Souza e André Veit pelo apoio, amizade e por tornar essa caminhada mais animada, harmônica e cheia de coisas boas.

Agradeço ao Fernando Pissetti Rossato e sua mãe Rosane da Silva Pissetti pelo empréstimo do trator, da área experimental, pela estadia e por todo o conforto e apressado oferecido e pela amizade construída durante esse período, em seus nomes também agradeço a todos os funcionários da fazenda Santa Helena que sempre foram prestativos em nos ajudar.

A Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas, nas pessoas de Lucas Arend e Cristiano Paim Buss, pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível a realização dessa dissertação.

Ao Gustavo J. Bonotto, amigo que considero irmão, pela amizade forte, por ter me apresentado ao professor Airton e por ser um exemplo de pesquisador sonhador. Aos colegas

e amigos Dirceu Nöller e Fabiano Cassol pela amizade e companheirismo durante a graduação e mestrado.

Aos meus amigos de infância de Nova Palma e da Banda Novos Amigos.

A todas essas e outras pessoas que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada que aqui está se encerrando, agradeço profundamente.

*Só existem dois dias no ano que nada pode ser
feito. Um se chama ontem e o outro se chama
amanhã, portanto hoje é o dia certo para
amar, acreditar, fazer e principalmente viver.*

(Dalai Lama)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DESEMPENHO DE ELEMENTOS DESCOMPACTADORES PARA ESCARIFICAÇÃO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

Autor: Mateus Potrich Bellé, Eng. Agrônomo.

Orientador: Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng.

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2013.

A competitividade do sistema produtivo agrícola têm levado os produtores a buscar formas de intensificar seus cultivos e aumentar seus lucros. Com a redução das janelas de semeadura e a intensificação dos sistemas produtivos, houve um aumento da potência, do tamanho e da frequência de utilização dos equipamentos no sistema de semeadura direta. Essas máquinas maiores e mais pesadas trouxeram alguns problemas ao sistema, a compactação do solo pelo tráfego intenso desses equipamentos. Essa compactação, além de prejudicar o desenvolvimento das raízes das plantas, aumenta o requerimento de força dos implementos. Então, a elevação desses níveis aliada a redução ou estagnação nos níveis de produção têm justificado a intervenção no sistema com algum tipo de equipamento de preparo de solo, e o implemento que melhor se enquadra pelas características de desenvolver um preparo conservacionista é o escarificador. Tendo em vista que há deficiência de informações comparativas entre escarificador e seus órgãos ativos, o trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de três diferentes elementos descompactadores utilizados em escarificadores (um experimental e dois comerciais), com vistas a levantar informações que sirvam de base para diagnosticar o potencial de mercado do elemento descompactador experimental frente às comerciais, utilizando como parâmetro para comparação, a força e potência média na barra de tração, área de elevação, mobilização e empoamento do solo, consumo horário e específico operacional de combustível e a resistência específica operacional. Os resultados mostraram que o elemento descompactador experimental teve um desempenho melhor do que os comerciais, nas principais variáveis estudadas, tais como o consumo horário de combustível, força média na barra de tração e potência média na barra de tração. A presença do disco de corte à frente dos elementos descompactadores prejudicou a demanda de força de tração, mas com menor consumo de combustível. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou aumento da demanda de força de tração e consumo horário de combustível e reduziu o consumo específico operacional. O patinamento não atingiu os níveis recomendados pela literatura.

Palavras-chave: Engenharia agrícola. Máquinas agrícolas. Escarificador. Preparo conservacionista do solo. Elementos descompactadores.

ABSTRACT

Master of Science dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PERFORMANCE OF LOOSEN ELEMENTS FOR CHISELING IN NO-TILLAGE SYSTEM

Author: Mateus Potrich Bellé, Eng. Agrônomo.

Adviser: Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng.

Santa Maria, February 25nd, 2013

The competitiveness of the agricultural production system has led producers to seek ways to enhance their crops and increase their profits. With the reduction of sowing windows and intensification of production systems, there was an increase in power, size and frequency of use of equipment at no tillage. These larger and heavier machines brought some system problems, soil compaction by heavy traffic of such equipment. This compaction, in addition to affecting the development of plant roots, increases the strength requirement of implements. Then, the elevation of these levels coupled with stagnation or reduction in production levels that have justified intervention on the system with some type of tillage equipment, and implement that best fits the characteristics of developing a conservation tillage is the chisel plow. The fact that there is a deficiency of comparative information and chisel plow their bodies active, the study aimed to evaluate the performance of three different loosen elements used in chisel plowing (one experimental and two commercial), in order to gather information as a basis to diagnose potential market of loosen experimental elements compared to the loosen commercial elements, using as a benchmark for comparison, the average in strength and power drawbar, area of soil elevation, soil mobilization and swelling, fuel consumption and specific operational fuel consumption and specific operational resistance. Results showed that the experimental loosen element performed better than the commercials on major variables, such as the fuel consumption, average force and power at the drawbar. The presence of the disk in front of the loosen elements damaged the traction force demand, but with lower fuel consumption. The increase in forward speed gave rise to increasing demand for traction force and fuel consumption and reduced specific operational fuel consumption. The slip did not reach the recommended levels in the literature.

Keywords: Agricultural engineering. Agricultural machinery. Chisel plow. Conservation tillage. Loosen elements.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de textura, densidade e umidade do solo em diferentes profundidades de coleta.	31
Tabela 2 - Valores médios da resistência a penetração em três profundidades e em três partes do experimento.	32
Tabela 3 - Informações das hastes utilizadas e suas especificações de ângulos e medidas.	35
Tabela 4 - Equipamentos utilizados e as respectivas variáveis coletadas.	38
Tabela 5 - Análise estatística ANOVA, com as médias dos fatores, seus níveis e os resultados do teste F.	49
Tabela 6 - Valores médios da área de elevação do solo (cm ²) para os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento.	51
Tabela 7 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC0 para área de solo mobilizado (cm ²).	52
Tabela 8 - Interação dos fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento na variável área de solo mobilizado (cm ²).	53
Tabela 9 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para o empolamento do solo (%).	54
Tabela 10 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para a variável patinamento (%).	56
Tabela 11 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para a variável patinamento (%).	56
Tabela 12 - Médias e interações entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para a variável força média na barra de tração (kN).	57
Tabela 13 - Médias e interação tripla entre os elementos descompactadores (EDs), presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento para a variável força média na barra de tração (kN).	58
Tabela 14 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para a potência média na barra de tração (kW).	60
Tabela 15 - Médias e interações entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento e presença de disco de corte e velocidade de deslocamento para a variável potência média na barra de tração (kW).	61

Tabela 16 - Interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte para a variável consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).	62
Tabela 17 - Interação entre os fatores velocidade de deslocamento e presença de disco de corte (PDC) para a variável consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).	63
Tabela 18 - Interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para o consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).	64
Tabela 19 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para o consumo específico operacional ($l\ kw\ h\ m^{-2}$).	65
Tabela 20 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte para o consumo específico operacional ($l\ kw\ h\ m^{-2}$).	66
Tabela 21 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC), para a variável resistência específica operacional ($kN\ m^{-2}$).	67
Tabela 22 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para a variável resistência específica operacional ($kN\ m^{-2}$).	68
Tabela 23 - Desempenho dos elementos descompactadores (EDs) para todas as variáveis estudadas.....	70
Tabela 24 - Caracterização de diferentes estudos onde foi avaliada a resistência específica operacional de distintos elementos descompactadores (EDs).	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Destacado em cor vermelha, o município de Boa Vista do Inera, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: pt.wikipedia.org.....	29
Figura 2 – Imagem aérea da área experimental. Fonte: Google Earth, 2012.	30
Figura 3 - Trator agrícola utilizado no experimento.....	33
Figura 4 - Estrutura porta-ferramentas: vista frontal (a) e lateral (b).	34
Figura 5 – Elemento descompactador parabólico (a), elemento descompactador experimental (b) e o elemento descompactador reto inclinado largo (c).	35
Figura 6 - Sistema de segurança com molas helicoidais (a) e a substituição das molas por tubos cilíndricos (b).	36
Figura 7 – Disco de corte posicionado à frente do elemento descompactador C.....	37
Figura 8 - Suporte para o sensor indutivo da roda motriz (a) e a roda odométrica acoplada atrás da estrutura porta-ferramentas (b).....	39
Figura 9 - Suporte retrátil com a célula de carga acoplada (a) e estrutura para aferir consumo horário de combustível (b).....	39
Figura 10 - Perfilômetro de hastes.....	40
Figura 11 - Demarcação do relevo original do solo em local pré-definido, com o auxílio de um perfilômetro de hastes.....	41
Figura 12 - Foto da folha milimetrada com as três leituras marcadas.	42
Figura 13 - Croqui da área experimental, demarcação do sentido de deslocamento e da localização dos blocos.	48
Figura 14 – Aspecto visual da área de elevação do solo de um mesmo elemento descompactador com disco de corte a $2,98 \text{ Km h}^{-1}$ (a) e a $5,80 \text{ Km h}^{-1}$ (b).	50
Figura 15 - Gráfico da análise de regressão da interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para o consumo horário de combustível....	64
Figura 16 - Ilustração do desempenho de diferentes elementos descompactadores quanto à resistência específica operacional (kN m^{-2}).	72

LISTA DE ABREVIATURAS

- Ae – Área de elevação do solo
- Am – Área de solo mobilizado
- BTSI – Modelo da célula de carga
- C.V. – Coeficiente de variação
- CAD - *Computer Aided Design*
- Ce – Consumo específico
- CeO – Consumo específico operacional
- Ch – Consumo horário de combustível
- EPF – Estrutura porta-ferramentas
- FBT – Força na barra de tração
- FMBT – Força média na barra de tração
- FT – Força de tração
- GPS – *Global positions sistem*
- EDA – Elemento descompactador parabólico
- EDB – Elemento descompactador experimental
- EDC – Elemento descompactador reta-inclinada largo
- LASERG – Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
- NEMA – Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas
- PDC – Presença de disco de corte
- PLG 1020 – Modelo do equipamento utilizado para medida do índice de cone
- PMBT – Potência média na barra de tração
- PPGEA – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola
- Pul – Pulso
- ReO – Resistência específica operacional
- RPM – Rotação por minuto
- Rrol – Resistência ao rolamento
- SSD – Sistema de semeadura direta
- TDA – Tração Dianteira Auxiliar
- TT – Triângulo textural
- UFMS – Universidade Federal de Santa Maria
- V1 – Velocidade de 2,98 Km h⁻¹

V2 – Velocidade de 5,80 Km h⁻¹

V3 – Velocidade de 8,89 Km h⁻¹

Vr – Velocidade real obtida pela roda odométrica

Vt – Velocidade da roda motriz

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1	Hipóteses	18
1.2	Objetivo geral	18
1.3	Objetivos específicos	19
2.	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	Compactação do solo.....	20
2.2	Implementos para preparo conservacionista do solo.....	21
2.3	Elementos descompactadores e discos de corte	23
2.4	Descompactação do solo.....	25
2.5	Análise da operação de descompactação.....	26
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Material	29
3.1.1	Área experimental	29
3.1.2	Solo	30
3.1.3	Trator.....	32
3.1.4	Estrutura porta ferramenta (EPF).....	33
3.1.5	Elementos descompactadores e disco de corte	34
3.1.6	Instrumentação	37
3.1.7	Equipamentos para amostragem das variáveis de solo	40
3.2	Métodos	41
3.2.1	Área mobilizada, área de elevação e empolamento do solo.....	41
3.2.2	Força e potência média na barra de tração	43
3.2.3	Consumo horário de combustível.....	44
3.2.4	Consumo específico operacional.....	44
3.2.5	Patinamento	45
3.2.6	Velocidade de deslocamento	46
3.2.7	Resistência específica operacional	46
3.2.8	Delineamento experimental e análise dos dados.....	47
3.2.9	Organização do experimento.....	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Área de elevação do solo	50

4.2	Área de solo mobilizado	51
4.3	Empolamento do solo	54
4.4	Patinação	55
4.5	Força média na barra de tração.....	57
4.6	Potência média na barra de tração	59
4.7	Consumo horário de combustível	61
4.8	Consumo específico operacional	65
4.9	Resistência específica operacional	67
4.10	Principais resultados encontrados	69
5.	CONCLUSÕES	73
6.	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	74
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. INTRODUÇÃO

A competitividade do sistema produtivo agrícola têm levado os produtores a buscar formas de intensificar seus cultivos e aumentar seus lucros. Com isso, novas práticas e técnicas têm sido desenvolvidas por pesquisadores e buscadas por produtores, principalmente para sanar problemas que limitam o desenvolvimento das plantas na lavoura e soluções que promovam o aumento da eficiência operacional das máquinas e implementos no campo, bem como o uso racional dos mesmos, com menor consumo de energia.

Para que o cultivo expresse seu potencial produtivo, alguns requisitos de desenvolvimento devem ser atendidos. Nesse contexto, Horn (1990) relaciona alguns fatores ao ótimo desenvolvimento das plantas, dentre esses o desenvolvimento excelente do sistema radicular, absorção de nutrientes, água e aeração das raízes.

Na década de 80, em busca de maiores produtividades, os produtores começaram a utilizar o sistema de semeadura direta (SSD). Tal sistema foi um marco histórico, pois diminuiu sensivelmente a erosão do solo, reduziu a utilização do preparo de solo com arados e grades e, conseqüentemente, diminuindo o gasto energético com as operações agrícolas. Esse conjunto de modificações na rotina operacional das propriedades promoveu uma sensível redução na erosão hídrica, que era o maior problema do preparo convencional. Porém neste novo sistema, pela reduzida mobilização do solo, existindo apenas mobilização superficial nas operações de semeadura e plantio, e pela pressão exercida pelos rodados das máquinas e implementos cultivo após cultivo, ocorre a compactação do solo em sub-superfície. De acordo com Raper et al. (2000), essa é a principal queixa do SSD pelos produtores, os quais afirmam que o sistema não é sustentável devido aos efeitos nocivos da compactação do solo sobre as plantas.

Tendo em vista que a compactação é um problema vigente nas áreas agrícolas, algumas formas de controle podem ser empregadas para a supressão dessa adversidade. Para Terminiello (2011), a compactação do solo apresenta diferentes alternativas de controle, muitas delas incluem intervenções com preparos profundos, utilizando diferentes tipos de ferramentas. Nesse contexto, a escarificação de enquadra com uma forma de corrigir a compactação do solo, pois promove o preparo vertical do solo com pouco revolvimento e mantendo boa parte da palha presente no SSD na superfície. Porém essa operação deve ser

realizada observando diversos fatores, para que o efeito dessa seja prolongado e para que a operação seja viável do ponto de vista econômico e ambiental.

1.1 Hipóteses

Se a largura e espessura de uma haste e o formato da sua ponteira influenciam o atrito com o solo e conseqüentemente o esforço de tração e a mobilização do solo, então espera-se que o elemento descompactador experimental, com largura de haste reduzida e ponteira diferenciada, demande menos força de tração e obtenha menor resistência específica operacional, quando comparada com os outros dois elementos descompactadores em baixa velocidade de deslocamento.

Se o disco de corte liso, pela presença de uma borda de corte estreita e afiada, têm facilidade de penetrar no solo, então ao utilizá-lo à frente de um elemento descompactador para escarificação, este promove o rompimento parcial da camada superficial compactada, reduzindo a resistência mecânica do solo ao deslocamento da haste, promovendo menor valor de força média na barra de tração, consumo de combustível e resistência específica operacional.

1.2 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de três elementos descompactadores (conjunto haste + ponteira), sendo dois comerciais e um experimental com e sem a presença de disco de corte à frente, em três velocidades de operação em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, utilizando-se como critérios a força média na barra de tração e área de solo mobilizado, a fim de diagnosticar qual conjunto é superior quanto a resistência específica operacional.

1.3 Objetivos específicos

- Estudar a influência da velocidade de deslocamento e das características do conjunto Haste + Ponteira (elemento descompactador) sobre a força média na barra de tração, consumo horário de combustível, patinamento e área de solo mobilizado;
- Avaliar a influência da presença de um disco de corte à frente dos conjuntos no empolamento do solo, área de elevação do solo, força média na barra de tração e consumo horário de combustível.
- Analisar comparativamente os três elementos descompactadores utilizados observando o consumo específico operacional, área de solo mobilizado e resistência específica operacional;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Compactação do solo

Com o surgimento do sistema de semeadura direta (SSD), muitos problemas foram suprimidos, porém outros surgiram. Para Denardin et al. (2008), isso aconteceu porque houve apenas adoção da cobertura vegetal em superfície e supressão de importantes práticas idealizadas pelos precursores do SSD, como a rotação de cultura, utilização de mecanismos sulcadores do tipo hastes para distribuição de fertilizantes na linha de semeadura e manutenção de grande quantidade e diversidade de palha em superfície. Esses autores ainda acrescentam que em decorrência disso, surgiram graves problemas, como a concentração de nutrientes em superfície e a compactação do solo. Essa última, restringindo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, reduzindo a sua produtividade, afetando o desempenho e a qualidade das atividades agrícolas no campo e modificando as condições físicas do solo, como a densidade, macro e micro porosidade e a capacidade de retenção de água do solo.

A compactação do solo caracteriza-se pela ação nociva ao desenvolvimento das plantas provocada pela redução na porosidade do solo. De acordo com Marquez (2004), essa degradação nas propriedades físicas do solo favorece o desenvolvimento de ervas daninhas, reduz a capacidade de germinação das sementes e a produção final das plantas.

Analisando a limitação de produção em seis solos tropicais, Stewart et al. (1990) constataram que a compactação é a principal entre oito outros problemas de solo analisados, sendo caracterizada como problema grave em três e moderado nos outros três tipos de solos, superando graves problemas como a erosão e baixa fertilidade. Também em seu trabalho, Foloni et al. (2003), ao avaliarem o efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho concluíram que o crescimento tanto da parte aérea quanto das raízes são prejudicados. Os mesmos autores ainda acrescentam que uma camada compactada com resistência à penetração de 1,4 MPa impede que o sistema radicular do milho atravesse-a e se desenvolva em profundidade. Porém, de um modo geral a literatura adotou 2,0 Mpa com um valor crítico para o crescimento radicular (TORMENA et al, 1998).

Diversos são os fatores causadores da compactação, para Marquez (2004), a ação dos rodados das máquinas e implementos, bem como o pisoteio do gado em um sistema de integração lavoura pecuária, ambos em condições de umidade elevada, promovem uma sensível compactação no solo e isso causa um aumento na resistência mecânica de sua estrutura, resultando assim em dificuldade de penetração do sistema radicular das plantas e dos órgãos ativos das semeadoras. Rosa et. al. (2008), citam que do ponto de vista físico e mecânico, um solo quando não revolvido ou não preparado tende a se adensar e com o passar dos anos essa compactação tende a aumentar. Esses problemas ocorrem porque apenas é preparado o solo na linha de semeadura e em pequenas profundidades, geralmente não ultrapassando 0,15m, isso faz com que o sistema radicular restrinja seu desenvolvimento a essa profundidade. Esse problema tende a se agravar mais quando, ao invés de utilizar haste sulcadora nas semeadoras, os produtores utilizam sulcadores tipo disco, reduzindo ainda mais a mobilização de solo na linha de semeadura. Com esse problema, segundo Beulter e Centurion (2004), em anos de escassez de chuvas, a capacidade de absorção de água pelas raízes fica restrita a essa pequena camada.

Os problemas que a compactação gera não são restritos a ação do sistema radicular das plantas, eles também têm grande influência sobre o desempenho de máquinas e implementos. Para Drescher et al. (2011), essa restrição nas áreas agrícolas pode interferir diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas, promovendo uma ampliação na demanda de potência para tração, que segundo Conte (2008), evidencia uma relação entre a compactação e a demanda de força. Mais especificamente na operação de semeadura, a compactação do solo também se insere como um problema, pois de acordo com Rosa et al. (2008), ela promove um aumento na demanda de força e aumento no esforço vertical da haste sulcadora da semeadora para efetuar a penetração no solo.

2.2 Implementos para preparo conservacionista do solo

A compactação do solo influencia negativamente o desenvolvimento das raízes das plantas e o desempenho das máquinas para plantio, semeadura e adubação. Isso nos leva a crer que ao sanar esse problema, pode-se ter um incremento na produtividade, qualidade das operações e, conseqüentemente, aumento da renda do produtor. Com isso, técnicas conservacionistas têm sido desenvolvidas por pesquisadores no intuito de criar formas e

alternativas para a descompactação do solo. Entretanto, essas alternativas devem ser executadas mantendo as características do sistema, como a cobertura vegetal na superfície.

Alguns implementos de preparo de solo possuem características importantes para a descompactação. Neste cenário, Ortiz-Cañavate e Hernanz (1989) acrescentam que os equipamentos que apresentam requisitos para o preparo primário em um sistema conservacionista (semeadura direta), são o escarificador e o subsolador, pois têm como principal vantagem a mobilização do solo sem revolvimento e incorporação de menos de 1/3 da palhada presente na superfície. O escarificador, segundo Machado et al. (2005), proporciona menos desagregação da estrutura do solo, não causa revolvimento, e por consequência disso, mantém a palha na superfície reduzindo o risco de erosão.

O subsolador e o escarificador, conforme Ortiz-cañavate (1995), são implementos que preparam o solo sem revolvê-lo. Esse autor ainda acrescenta que esses equipamentos são compostos por uma ou mais hastes, que trabalham em profundidades maiores do que os implementos normais de preparo. Além disso, segundo Ortiz-cañavate (2003), a operação com o escarificador pode alcançar velocidades de deslocamento de até 10 km h^{-1} , muito acima das velocidades de operações de aração. Além disso, o autor complementa que isso ocorre porque o escarificador consome menos força de tração (FT), demandando de 40 a 50 % menos FT para uma mesma largura de trabalho e 30 a 40 % menos FT para um mesmo volume de solo mobilizado em relação a um arado e, em comparação a esse implemento, para um trator de mesma potência, pode duplicar a capacidade de trabalho.

As operações com implementos que possuem hastes, excluindo a semeadura e plantio, podem ser classificadas conforme a profundidade de trabalho. De acordo com Machado et al. (2005), a operação de 0,05 a 0,15m de profundidade é denominada escarificação superficial e de 0,15 a 0,30m, escarificação profunda. Já a subsolagem caracteriza-se pelo preparo do solo a mais de 0,30 – 0,35 m de profundidade (SILVEIRA, 1988) e podendo chegar a até 1,10 m em solos florestais (STAPE et al. apud GONÇALVES e STAPE, 2002).

A diferenciação que há entre um escarificador e um subsolador resume-se a profundidade de operação, pois todos os mecanismos do equipamento normalmente são os mesmos (MARQUEZ, 2004). Nesse sentido, pode-se utilizar o mesmo equipamento para duas operações distintas, restando apenas adequar a ferramenta à profundidade e largura entre hastes ideal para cada operação.

2.3 Elementos descompactadores e discos de corte

A utilização de máquinas de preparo de solo em sistemas conservacionistas podem ocasionar inúmeros problemas, principalmente quando não apresentam características geométricas para esse fim e subsistemas auxiliares de operação, como discos de corte de palha. Esses são muito conhecidos por facilitarem a operação de elementos descompactadores, cortando a palha e proporcionando uma mínima alteração nessa cobertura vegetal superficial, porém sua importância vai muito além disso. Marquez (2004) acrescenta que, os discos de corte podem ser utilizados em operações de descompactação onde o solo está com teor de água baixo, pois evitam a formação de grandes torrões pelos elementos descompactadores.

Analisando a operação de corte de resíduos vegetais com discos de cortes de diferentes formatos, em duas profundidades e três teores de água do solo, Chang et al. (1986) concluíram que a forma e o diâmetro do disco não influenciaram significativamente o corte dos resíduos de milho. Entretanto, a força horizontal e a força vertical aumentam quando é incrementada a profundidade de trabalho, diâmetro do disco e resistência à penetração do solo. Além disso, ao avaliarem as características de operação de discos de corte, Tice e Hendrick (1992) concluíram que discos planos e lisos com pequena espessura reportaram menores forças horizontal e vertical, melhorando ainda quando o ângulo vertical do disco é mínimo, pois aumenta a eficiência de corte.

Dessa forma, para utilizar um disco de corte à frente de uma haste, devem ser observados diversos fatores para não haver um agravamento nas exigências de força de tração. Camacho e Magalhães (2004) analisaram a operação e o comportamento de diferentes configurações de hastes com e sem disco duplo à frente e verificaram que a presença do disco duplo promove uma redução na área de solo mobilizado e não aumentam o requerimento de força de tração. Esses mesmos autores acrescentam que a presença do disco de corte à frente da haste pode ser uma boa alternativa, pois a força vertical aplicada ao disco facilita o corte da palha na superfície, além de permitir o rompimento de camadas compactadas a maiores profundidades sem aumentar o requerimento de potência. Sendo assim, em operações de descompactação do solo em áreas de semeadura direta, os equipamentos como o escarificador e subsolador podem ser utilizados, acrescidos de um disco de corte de palha à frente das hastes, pois o disco irá promover uma menor incorporação dos resíduos da superfície sem agravar a demanda energética.

A quantidade de palha na superfície é outro fator que age sobre o desempenho dos mecanismos empregados nas operações de descompactação do solo. Avaliando três tipos de discos de corte, liso, estriado e ondulado e cinco quantidades de palha de aveia-preta em superfície (0; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹) Santos et al. (2010), conclui que a quantidade de resíduo utilizada não oferecem resistência ao corte, não havendo variação na força de tração e que quantidades elevadas de palha proporcionam aumento da profundidade de trabalho dos discos, pois nessa condição a maior umidade do solo facilita a penetração do disco. Já Silva (2007), que avaliou os mesmo tipos de disco, porém em cinco tipos de cobertura vegetal (milho, sorgo, aveia-preta, triticale e nabo forrageiro), concluiu que quanto maior a quantidade de massa seca, maior a demanda de força vertical e horizontal.

Vários são os fatores que influenciam uma operação de escarificação, tais fatores têm um comportamento diferenciado para cada tipo e característica física de solo. Ao perceber que há interação entre diversas variáveis em uma operação com escarificadores, Spoor e Godwin (1977) afirmam que a mobilização do solo é dependente da profundidade de trabalho do implemento, das características físicas do solo, da densidade, umidade, do comprimento e da largura da haste.

Além dos fatores relacionados à operação, outros podem influenciar a demanda de tração e qualidade do preparo do solo. Raper et al. (2005), avaliando três elementos descompactadores distintos no ângulo de ataque e no formato das hastes (retas e curvas), concluíram que a haste reta com inclinação de 45° demandou menos potência quando comparada com as demais, concordando com Lanças (1988) e Raper (2002), que citam esse formato e ângulo com sendo configurações ideais para baixa força tração (FT). Ortiz – Cañavate (1995), descreve as hastes reta-inclinadas e curvas como elementos que consomem 25% menos FT que as retas. Isso vai ao encontro dos estudos de Stafford e Tanner (1976) e Perumpral et al. (1983), os quais concluíram que com o aumento do ângulo de ataque é aumentada a FT. Em contrapartida, a qualidade da mobilização pode ser afetada com a redução do ângulo de ataque, pois apesar dessa diminuição causar impacto positivo, reduzindo a FT, ela promove pouca mobilização do solo (MARTINUCCI, 1985). Esse mesmo autor sugere que o ângulo de ataque ideal para um elemento descompactador, que propicia uma mobilização de solo satisfatória com demanda de tração compatível, é 45°.

2.4 Descompactação do solo

O preparo do solo é definido por Ortiz-cañavate (2003), como uma modificação do estado estrutural do solo, mediante aplicação de ações mecânicas, oriundas de implementos. Essa prática foi muito utilizada no sistema convencional de cultivo de grãos, onde, ano após ano, o solo era revolvido e preparado para a deposição das sementes, em condições ótimas de aeração e restrições físicas quase nulas. Entretanto, esse sistema convencional, por proporcionar erosão, foi substituído pelo sistema de semeadura direta (SSD). Porém, esse novo sistema, com o passar dos anos, também apresentou problemas, como a compactação do solo, que restringe o aprofundamento das raízes das plantas.

Para Terminiello et al. (2011), os problemas de compactação do solo apresentam diferentes alternativas de controle, muitas delas incluem intervenções com preparos profundos, utilizando diferentes tipos de órgãos ativos. Spoor et al. (2003), recomenda que a operação de descompactação seja sem o revolvimento do solo. Esse autor ainda salienta que o efeito do trabalho no tempo está interligado com a capacidade de suporte do solo frente a novas cargas verticais, oriundas do tráfego das máquinas e implementos.

Conforme Gamero (2008), após o surgimento da necessidade de descompactação do solo, vários equipamentos tem sido testados e utilizados para esse objetivo, entretanto para conhecer sua eficiência no campo é de fundamental relevância que sejam analisados os parâmetros relativos à dinâmica de mobilização do solo e desempenho energético dos mesmos. Para BARZEGAR et al. (2003), a recomendação de uma operação de descompactação em semeadura direta não deve ser baseada apenas em um ligeiro aumento no rendimento de grãos, mas também na redução da erosão do solo e do maior armazenamento de água desse solo.

Em um estudo, Raper et al. (2008), analisaram a distância da posição do preparo de solo por um elemento descompactador em relação à linha de semeadura de algodão e o impacto na produtividade. Esses autores concluíram que quando mais próxima a linha descompactada está em relação às plantas de algodão posteriormente semeadas, maiores são os rendimentos dessa cultura, enaltecendo a resposta que essa planta tem frente à condições favoráveis de cultivo.

Para se estabelecer uma operação com um implemento descompactador, devem ser conhecidos os objetivos e a eficácia dessa prática. Marquez (2004), recomenda que essa seja efetuada quando é desejado o aumento da porosidade das camadas compactadas, incremento

no volume explorado pelo sistema radicular das plantas e para favorecer a penetração de água no perfil do solo. Schuler & Wood (1992), afirmam que nessas operações, algumas premissas devem ser levadas em consideração: a descompactação somente deve ser realizada quando o solo estiver seco, para haver uma boa mobilização do solo. Além disso, a profundidade de preparo deve ser regulada conforme a profundidade da camada compactada, recomendando-se o posicionamento da ponteira a 0,10 m abaixo dessa camada (MARQUEZ, 2004).

A umidade é um fator que determina a magnitude de deformação que poderá ocorrer no solo. Para Rípoli et al. (1985) quando a umidade do solo é baixa, verifica-se um menor risco de compactação pelo tráfego e uma maior mobilização desse solo pelo preparo. Já Nichols et al. (1958), relatam que as operações com equipamentos descompactadores não deve ser recomendada quando o solo estiver muito úmido, pois esse pode fluir plasticamente através das hastas, sem promover a desagregação do solo. Esse mesmo autor, afirma que quanto maior a coesão do solo maior são os efeitos de uma operação de descompactação, ou seja, em condições de solo seco pode haver uma maior área de solo mobilizado. Da mesma forma, isso é explicado pelo efeito lubrificante que a água produz, o qual é reduzido quando o solo está mais seco (ROSA JÚNIOR, 2000), sendo essa condição promotora de maiores área de solo mobilizado, largura efetiva de trabalho e maior rendimento operacional (YSHIMINE, 1993).

2.5 Análise da operação de descompactação

Ao avaliar um implemento para preparo do solo, algumas variáveis devem ser analisadas afim de que os efeitos provocados pelo equipamento sejam compreendidos. Gamero e Lanças (1996) citam alguns parâmetros mensuráveis para se quantificar o desempenho operacional de subsoladores, entre eles estão a área de solo mobilizado, empolamento do solo, velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, força média na barra de tração, patinamento, resistência específica operacional e capacidade de campo efetiva.

As oscilações atribuídas a estas variáveis podem ser originadas de diversos fatores, sendo a variação da velocidade de deslocamento de um equipamento de preparo de solo, normalmente, condicionada às condições do terreno e à modalidade da atividade. Para Bicudo

(1990), a velocidade de deslocamento de um subsolador é influenciada de maneira significativa pela profundidade de trabalho.

A velocidade de deslocamento de uma operação deve estar compreendida entre um determinado intervalo, o qual contemple a faixa mais adequada para elevar a qualidade na operação. Para Ortiz Cañavate (1995), a velocidade para a operação de descompactação deve ser enquadrada entre 5 e 10 km h⁻¹. Para Lanças (1987), a utilização de altas velocidades ocasiona um menor consumo específico operacional de combustível com uma maior capacidade de campo e força de tração.

Silveira (2005), avaliando a força de tração e potência requerida por uma semeadora em duas velocidades e duas profundidades de deposição de sementes, concluiu que o aumento da velocidade implica em aumento da demanda de força de tração na barra. Porém, ele ainda acrescenta que essa variável quando aumentada não influencia à área mobilizada de solo, sendo este mesmo resultado também obtido por Yshimine (1993). Bianchini (1999) foi mais além e ao estudar o comportamento operacional de um escarificador em solo de cerrado, pode verificar que o aumento da velocidade de deslocamento, além de não influenciar a área de solo mobilizado, não altera a força de tração e resistência específica. Em contra partida, para Stafford (1979) a área de solo mobilizada aumenta com o acréscimo da velocidade de deslocamento, porém quando comparada com o aumento da força de tração esse aumento torna-se muito pequeno.

Segundo Daniel e Maretti (1990), dois fenômenos são decorrentes de uma operação de escarificação, o deslocamento vertical do solo e a sua área de solo mobilizada, e para isso, é obrigatório o levantamento de três variáveis importantes: a demarcação da superfície natural, a área de solo elevada e o perfil do solo mobilizado.

A área elevada pode ser obtida com o auxílio de um perfilômetro colocado no mesmo local antes e depois da passagem dos órgãos ativos dos implementos, enquanto que o perfil de solo mobilizado é obtido após a remoção do solo mobilizado pelos órgãos ativos do equipamento, sendo essa medida feita no mesmo local das análises anteriores. A obtenção dessas áreas e variáveis pode ocorrer através da determinação por meio de gráficos plotados ou programas computacionais para cálculo de área. O empolamento do solo consiste na relação da área de elevação do solo e a área de solo mobilizado, sendo assim quanto menor seu valor maior será a mobilização do solo em profundidade (GAMERO e SILVA, 1993).

Buscando entender a relação área de solo mobilizado e demanda de força de tração, Mion (2002) avaliou a influência da profundidade de uma haste sulcadora na sua demanda de

força de tração, área de solo mobilizado em plantio direto e pode constatar que o aumento no requerimento de força de tração e área de solo mobilizado é proporcional ao aprofundamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área experimental

A área experimental utilizada fica localizada na mesorregião do Noroeste Rio-grandense, no município de Boa Vista do Incra, RS (FIGURA 1), na Fazenda Santa Helena. Essa propriedade situa-se em uma região que caracteriza-se pelas atividades agrícolas e pecuária de leite e corte, em grande, média e pequena escala de produção. As principais atividades agrícolas são o cultivo de soja, milho e cereais de inverno, como trigo, aveia preta e aveia branca. A elevação em relação ao nível do mar fica em torno de 410m. O ponto central da área possui latitude de 28°47'09,67" Sul e Longitude de 53°31'01,90" Oeste.



Figura 1 – Destacado em cor vermelha, o município de Boa Vista do Incra, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: pt.wikipedia.org

O histórico de cultivo da área resume-se à cultura da soja no verão e aveia-branca ou trigo no inverno. A palha presente na cobertura era oriunda basicamente dos dois cultivos anteriores, soja e aveia-branca. A área experimental (FIGURA 2) por estar localizada em uma extremidade do talhão, apresenta um elevado adensamento do solo, provocado pelo intenso trânsito de máquinas, tanto para entrada no talhão como pulverizações de cabeceira, semeadura e colheita. Após a implantação do sistema de semeadura direta, a aproximadamente 15 anos, essa área nunca sofreu preparo de solo ou operação de descompactação. Nos últimos cultivos de inverno as semeadoras foram equipadas com mecanismos de abertura de sulco do tipo disco duplo desencontrado e na semeadura de verão os mecanismos de mobilização de solo e abertura foram disco ondulado e disco duplo desencontrado, respectivamente.



Figura 2 – Imagem aérea da área experimental. Fonte: Google Earth, 2012.

3.1.2 Solo

O solo encontrado na propriedade foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico. Esse possui características físico-químicas que o definem como um solo

com boa aptidão agrícola, por ser profundo e bem drenado. Dentre outros aspectos, somente destaca-se a fertilidade natural baixa e presença de acidez, porém esses atributos de fácil correção através da utilização de fertilizantes e corretivos.

Os dados de densidade do solo, textura e umidade são encontrados na tabela 1. A densidade do solo foi obtida a partir do método desenvolvido por EMBRAPA (1997). Foram coletadas vinte amostras (20 anéis) com o auxílio de um trado extrator, martelo, enxada, faca e pá de corte. Coletaram-se dez amostras para a primeira profundidade (0,15m) e as outras dez para a segunda profundidade (0,25m). Após coletados cuidadosamente, os anéis foram embalados em papel laminado e jornal, sendo acondicionados em sacos plásticos identificados e, após isso, acomodados em caixa térmica para transportar até o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), onde foram feitas as análises.

A umidade do solo foi diagnosticada a partir da coleta de doze amostras de solo a 0,20m de profundidade, estas distribuídas aleatoriamente no experimento. Após a coleta e armazenagem, as amostras foram encaminhadas para a análise no Laserg. As amostras foram secas em estufa a 105°C durante aproximadamente 24 horas. Após atingir peso constante, as mesmas foram pesadas novamente e, a partir da diferença de peso da amostra inicial e a amostra seca, foi calculado o teor de água do solo. A umidade gravimétrica média encontrada foi de 16,61%.

Tabela 1 - Valores médios de textura, densidade e umidade do solo em diferentes profundidades de coleta.

Características	Profundidades (m)	
	0-0,15	0,15-0,25
Composição Granulométrica		
Areia Grossa (%)	14,05	15,06
Areia Fina (%)	47,02	46,06
Silte (%)	9,20	9,36
Argila (%)	29,72	29,52
Densidade média do solo (g/cm ³)	1,59	1,66
Umidade média do solo (%)	-	16,61

A determinação da textura do solo, conforme o método empregado por Lemos e Santos (1996), é definida como a proporção das classes de tamanho de partículas do solo menores do que 2 mm, desconsiderando a presença da matéria orgânica. As classes de textura dos solos foram: areia grossa (2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm); areia fina (0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50 μm); silte (0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2 μm); e argila (menor do que 2 μm). Para a definição das classe texturais do solo foi usado um sistema de classificação gráfico, o Triângulo Textural (LEMOS e SANTOS, 1984). Foram coletadas duas amostras e encaminhadas para a análise no Laboratório de Física do Solo da UFSM. A textura do solo foi classificada como franco-argilosa.

O Índice de Cone foi determinado a partir da utilização de um penetrômetro digital, Marca Falker Automação Agrícola, modelo PLG 1020, o qual registra e armazena os dados de resistência à penetração coletados. Com esse equipamento foi possível amostrar 94 pontos agrupados conforme a distribuição na área, essa dividida em três partes: terço inferior, médio e superior, como se pode visualizar na tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios da resistência a penetração em três profundidades e em três partes do experimento.

Resistência à penetração média (kPa)	Divisão		
	I	II	III
0-0,10 m	1859,88	1550,32	1816,06
0,11-0,20 m	2184,11	2065,83	2333,85
0,21-0,25 m	2124,27	1923,27	1818,03

I - terço inferior; II – terço médio; III- terço superior;

3.1.3 Trator

Para tracionar a estrutura porta-ferramentas, foi utilizado um trator de rodas 4x2 com Tração Dianteira Auxiliar (TDA), motor com 132,4 kW (180cv) de potência (2200 rpm),

marca Massey Ferguson¹, modelo 7180, ano 2012 (FIGURA 3). No período que antecedeu os testes, esse trator foi pesado e apresentou massa de 8270 kg. Possui pneus traseiros tipo 30.5L32R1 e dianteiros tipo 18.4-26R1, com calibragem de 18 e 16 lb pol⁻², respectivamente.

Durante o experimento a TDA permaneceu desligada em função da pequena exigência de potência durante as atividades. Foram retirados todos os lastros dianteiros (230 Kg) e mantidos 25% do volume dos pneus traseiros com água. Tal trator foi equipado com a instrumentação, necessária para a coleta dos dados de velocidade das rodas motrizes, consumo horário de combustível e força média na barra de tração, que será descrita a seguir no item 4.1.6.



Figura 3 - Trator agrícola utilizado no experimento.

3.1.4 Estrutura porta ferramenta (EPF)

A EPF foi desenvolvida por Gassen (2011), para possibilitar o acoplamento de diferentes tipos de mecanismos de preparo de solo, bem como os sistemas de deposição de adubo e sementes de semeadoras adubadoras em linha. Essa EPF possui um sistema de levante que possibilita a penetração dos elementos descompactadores em posição e ângulo uniformes. A mesma é acoplada na barra de tração do trator e a sustentação do seu peso se dá

¹ A citação de marcas e modelos comerciais não implica em nenhuma forma de aprovação ou recomendação dos mesmos por parte do autor.

por três pontos, pelo apoio na barra de tração e por duas rodas, aro 16, equipadas com pneu 7.50 F2, situadas na parte traseira do implemento, conforme figuras 4a e 4b.

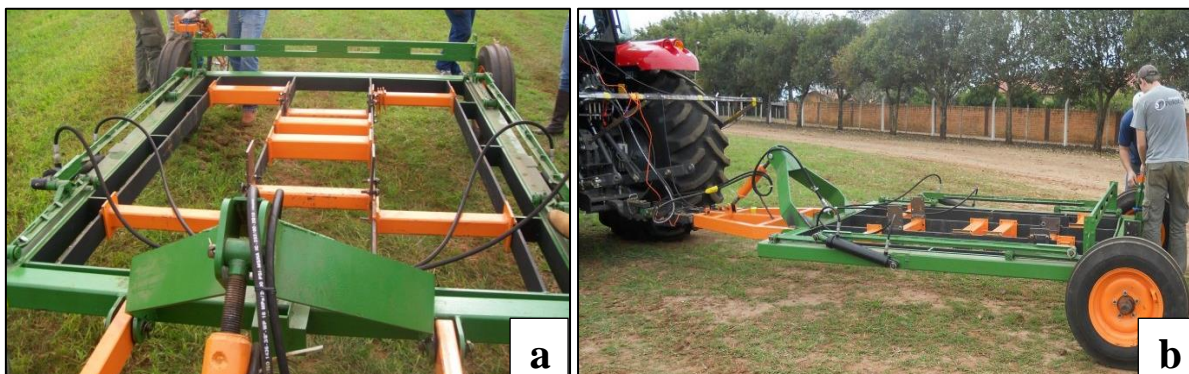


Figura 4 - Estrutura porta-ferramentas: vista frontal (a) e lateral (b).

Os suportes para acoplamento dos elementos descompactadores (EDs) e disco de corte foram construídos no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG) durante o período que antecedeu a realização do experimento. Após as devidas adaptações e anteriormente à realização do experimento, foram feitos testes para aprovação dos suportes, em uma área de campo pertencente à UFSM.

3.1.5 Elementos descompactadores e disco de corte

Foram utilizadas três modelos de elementos descompactadores (EDs), dois comerciais e um experimental, conforme figura 5. Os motivos que levaram a escolha dos dois comerciais, um parabólico e o outro reto inclinado largo, baseiam-se no princípio de que ambos têm características geométricas distintas (TABELA 3), que os diferenciam do elemento descompactador experimental, e são usados em escarificadores comerciais, o que indica uma excelente comparação para observar o potencial do elemento experimental.

Para o melhor entendimento e organização das tabelas e gráficos, os elementos descompactadores parabólico, experimental e reto inclinado largo, foram denominados EDA, EDB e EDC, respectivamente.

Tabela 3 - Informações das hastes utilizadas e suas especificações de ângulos e medidas.

EDs	Formato da haste	Largura da haste (m)	Ângulo de ataque da haste (graus)	Largura da ponteira (m)	Ângulo de ataque da ponteira (graus)
EDA	Parabólica	0,03	-	0,05	20
EDB	Reta inclinada	0,015	45	0,037	20
EDC	Reta inclinada	0,035	60	0,055	20

O elemento descompactador com formato parabólico, denominado EDA (FIGURA 5a), foi retirado de um escarificador da marca Jan Implementos Agrícolas S/A pertencente ao Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas - NEMA/UFSM. O elemento descompactador reto inclinado estreito, denominado EDB ou Experimental (FIGURA 5b), pertence ao LASERG e foi desenvolvida por Gassen (2011) Já o reto inclinado largo, denominado EDC (FIGURA 5c), bem como o disco de corte e seus suportes, foram cedidos pela empresa Stara Indústria de Implementos Agrícolas Ltda.

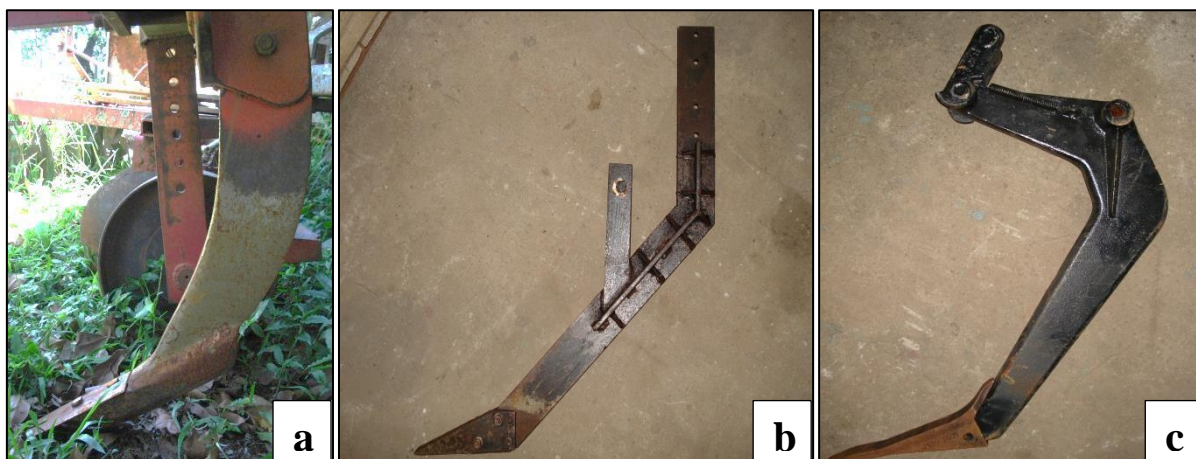


Figura 5 – Elemento descompactador parabólico (a), elemento descompactador experimental (b) e o elemento descompactador reto inclinado largo (c).

O EDC apresenta um sistema de segurança mecânico para evitar dano estrutural frente a um excesso de esforço de tração (FIGURA 6a), esse sistema quando exigido em demasia de força de tração, pressiona duas molas helicoidais e se desacopla, desconectando o EDs do suporte para não haver dano ao escarificador. Porém, as molas helicoidais podem absorver

parte do esforço contrário exercido pelo solo ao ED e assim sub estimar os dados de força de tração, por isso as molas helicoidais foram substituídas por tubos para anular este efeito, conforme figura 6b.

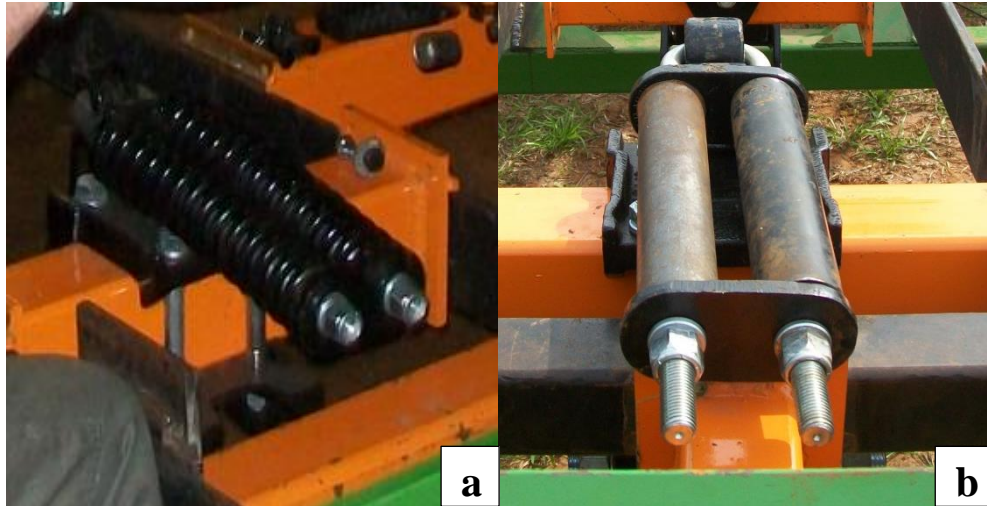


Figura 6 - Sistema de segurança com molas helicoidais (a) e a substituição das molas por tubos cilíndricos (b).

A profundidade de trabalho foi padronizada em 0,25 m para os três elementos descompactadores (EDs), conforme ajustes pré-estabelecidos nos suportes.

O disco de corte utilizado (FIGURA 7) apresenta diâmetro de 0,47 m e espessura de 0,005 m. Sua utilização baseou-se no princípio do rompimento da camada superficial e sub-superficial compactada à frente do EDs, possibilitando assim verificar a influência na demanda energética e mobilização de solo. Tal rompimento foi executado em uma profundidade padrão de 0,10 m e a distância em relação aos EDs também foi padronizada em 0,60 m. O suporte do disco apresenta uma mola helicoidal que confere força vertical para penetração do disco no solo, tal força é variável e regulada de acordo com a compressão exercida sobre a mola helicoidal por um parafuso. Essa regulagem da pressão da mola helicoidal baseou-se na compressão de 1/3 do seu tamanho original, conforme recomendação do fabricante e foram padronizadas para todos os tratamentos.



Figura 7 – Disco de corte posicionado à frente do elemento descompactador C.

3.1.6 Instrumentação

Fundamental para a obtenção dos dados de força de tração, consumo horário de combustível, patinagem das rodas motrizes, velocidade real de deslocamento e índice de cone, a instrumentação teve seus componentes eletrônicos e programa computacional similares aos citados por Russini (2009), porém diferenciando o projeto dos suportes mecânicos para os sensores de patinamento, a presença de uma roda odométrica e ausência de GPS. Na tabela 4 está apresentada a lista de componentes eletrônicos e mecânicos utilizados na instrumentação do trator, bem como seus modelos e funções. Todos os equipamentos citados no quadro abaixo pertencem ao LASERG, exceto o penetrômetro digital que foi emprestado pelo NEMA.

O armazenamento de dados deu-se pela conexão dos sensores indutivos, célula de carga e fluxômetro com o *datalogger*, que é um gravador de dados eletrônicos que recebe e armazena dados oriundos dos sensores a ele conectados, em um tempo pré-definido e de acordo com uma lógica de programação a ele atribuída. Possui uma baixa taxa de amostragem e uma grande capacidade de armazenamento de dados. A extração dos dados se deu via cabo com entrada e saída serial conectado a um computador portátil. A cada tratamento aplicado, o horário era anotado na planilha e todo o sistema era ligado, através de um disjuntor, já em velocidade de trabalho constante. Após o fim do tratamento, todo o sistema era desligado e novamente o horário era anotado para posterior extração organizada dos dados das planilhas. Como havia um período de tempo para modificação dos tratamentos, como a troca de hastes e

disco, houve uma divisão clara dentro das planilhas e isso possibilitou uma fácil organização dos dados após o trabalho.

Tabela 4 - Equipamentos utilizados e as respectivas variáveis coletadas.

Item	Variável extraída/função	Modelo
1	Força na barra de tração	Célula de Carga Berman, modelo BTSI / 5T
2	Patinamento e velocidade	Sensor Indutivo LM, modelo LM 12-3004 PC
3	Consumo de combustível	Fluxômetro Oval Corporation, modelo Oval M-III LSF 41
4	Armazenamento de dados	Datalogger Campbell Scientific, modelo CR 1000
5	Resistência à penetração	Penetrolog Falker PLG 1020 Ponta nº 2
6	Relevo original do solo Perfil empolado do solo Perfil basal do solo	Perfilômetro de 15 hastes, LASERG
7	Velocidade de deslocamento	Roda Odométrica, LASERG

O sistema mecânico foi construído no LASERG com a ajuda de bolsistas de iniciação científica e colegas pós-graduandos. O sistema eletrônico foi montado, calibrado e testado por um profissional da área.

Apesar do trator possuir TDA, foram conectados ao *datalogger* apenas os sensores dos rodados traseiros. Isso aconteceu porque o trator é de grande potência e não justificava a utilização deste recurso (TDA), conforme mostrado anteriormente.

A velocidade das rodas motrizes foi aferida com uso de sensores indutivos, montados em uma estrutura mecânica construída exclusivamente para esse fim, conforme Figura 8a, tal estrutura possui extensões que proporcionam um afastamento do centro do aro das rodas para fora, tendo nas suas extremidades, uma engrenagem cujos dentes passam exatamente pelos sensores indutivos montados. Para a aferição da velocidade real de deslocamento construiu-se uma roda odométrica (FIGURA 8b), com mesmo princípio de funcionamento do sistema acoplado aos rodados motrizes. Essas duas variáveis foram determinadas baseadas na utilização de sensores indutivos, que determinam a frequência de giro das rodas e essa, através de equações matemáticas, é convertida em velocidade de deslocamento (Km h^{-1}).



Figura 8 - Suporte para o sensor indutivo da roda motriz (a) e a roda odométrica acoplada atrás da estrutura porta-ferramentas (b).

A variável força na barra de tração (FBT) foi obtida através de uma célula de carga tipo “S”, com capacidade para cinco toneladas, conforme descrição no item 4.1.6. Anteriormente à sua utilização, essa foi calibrada por um profissional capacitado, com o auxílio de uma prensa hidráulica. A célula de carga foi acoplada à barra de tração do trator através de um suporte retrátil, possibilitando que a mesma fosse o único ponto de ligação entre o cabeçalho do implemento e a barra de tração (FIGURA 8a), promovendo a leitura do esforço exercido pelo implemento. O consumo horário de combustível foi determinado a partir do uso de uma estrutura composta por um filtro de combustível, válvula de retenção e fluxômetro (FIGURA 8b), seu funcionamento será descrito no item 4.2.3.

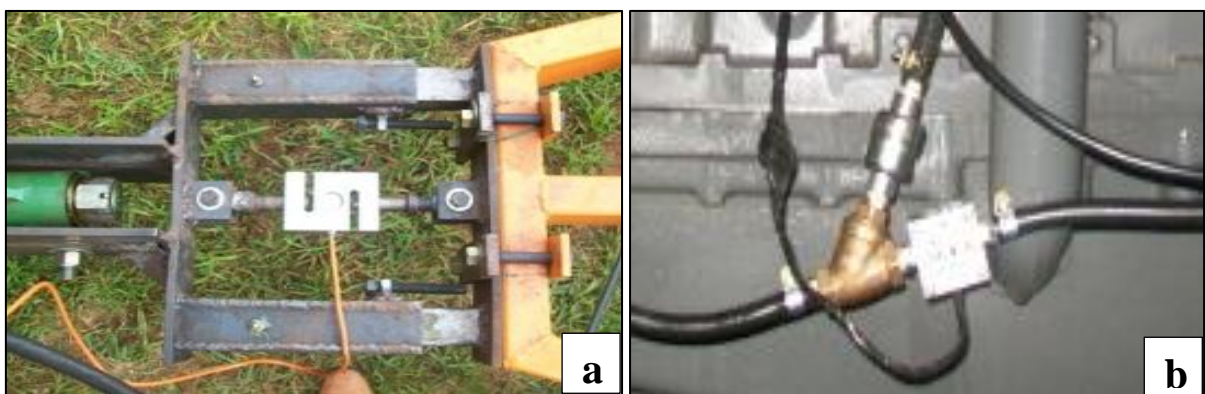


Figura 9 - Suporte retrátil com a célula de carga acoplada (a) e estrutura para aferir consumo horário de combustível (b).

3.1.7 Equipamentos para amostragem das variáveis de solo

O perfilômetro utilizado (FIGURA 10) foi construído por Gassen (2011), sendo este equipamento constituído de quinze hastes espaçadas 0,04 m umas das outras, abrangendo uma largura de leitura de 0,60 m e profundidade máxima de 0,35 m. Acoplado ao fundo do equipamento, têm uma placa de madeira removível que serve como apoio para fixação da folha milimetrada. A cada leitura o equipamento era nivelado através de um nível de bolha, comumente usado na construção civil. O detalhamento da operação será mostrada no item 4.2.1.



Figura 10 - Perfilômetro de hastes.

O índice de cone foi determinado com auxílio de um penetrômetro digital da empresa Falker Automação Agrícola Ltda. Foram coletadas 94 amostras e essas foram efetuadas próximas do local percorrido pelas elementos descompactadores, com a tentativa de melhor representar a compactação da área.

As coletas das amostras de solo para análise de densidade, umidade e textura do solo foram efetuadas manualmente, utilizando pá-de-corte, enxada, sacos plásticos, papel alumínio, anéis volumétricos, porta anéis, caixa plástica para armazenamento, martelo e pincel atômico. A amostragem foi aleatoriamente distribuída na área do experimento.

3.2 Métodos

3.2.1 Área mobilizada, área de elevação e empolamento do solo

Para a obtenção dessas variáveis, devem ser amostradas as variáveis relevo original, perfil empolado do solo e perfil basal do solo de cada repetição de tratamento, sendo essas desempenhadas em um mesmo local em três etapas. Primeiramente, foi fixada uma folha milimetrada com a identificação do tratamento e repetição e foram marcados na folha, com o auxílio de um pincel marcador vermelho, os pontos correspondentes a cada haste do perfilômetro (FIGURA 11). Após a passagem do elemento descompactador (ED), o mesmo processo foi efetuado, porém com um pincel de cor verde. Por último e após a remoção do solo mobilizado pelo ED com o auxílio de uma enxada, o perfilômetro foi colocado na mesma posição da atividade anterior e foi realizada a marcação da folha com um pincel de cor azul. A cor vermelha representa o relevo original, a cor verde o perfil empolado e a cor azul o perfil basal do solo.



Figura 11 - Demarcação do relevo original do solo em local pré-definido, com o auxílio de um perfilômetro de hastes.

A área de elevação do solo consiste na medida da área superficial do solo que sofreu elevação em relação ao relevo original mediante a passagem do elemento descompactador. Já

a área de solo mobilizado, consiste na medida de área de solo que foi mobilizada em profundidade em relação ao relevo original, mediante a passagem do elemento descompactador. O empolamento do solo representa a expansão volumétrica do solo em relação à condição original do terreno mobilizado.

Para o cálculo da área de elevação do solo e área de solo mobilizado, as folhas milimetradas foram fotografadas (FIGURA 12), com o auxílio de uma câmera digital a uma distância padronizada. As fotos digitalizadas foram plotadas no software Autodesk AutoCad (2012), onde a área das seções foram conhecidas mediante interpolação dos pontos marcados.

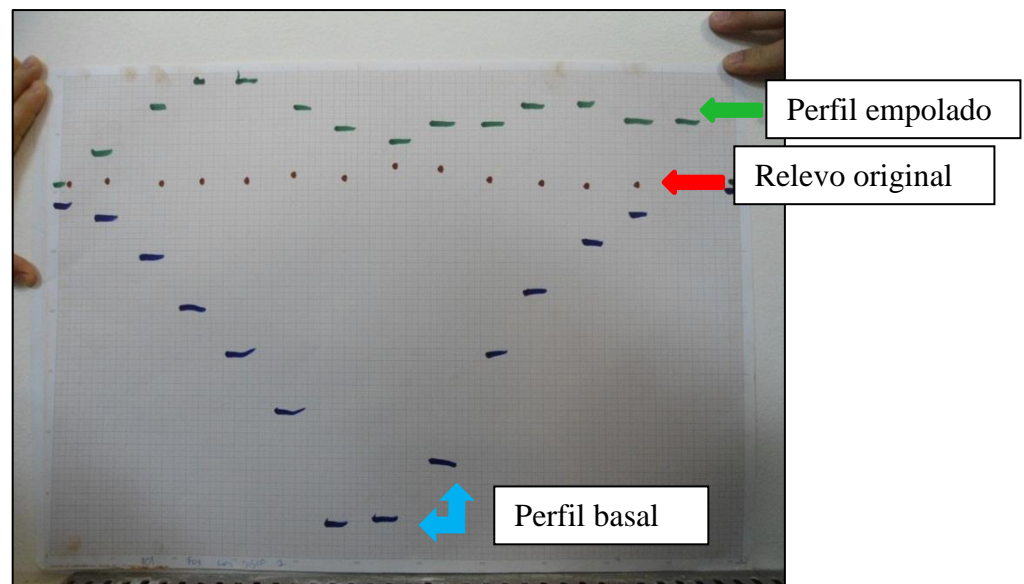


Figura 12 - Foto da folha milimetrada com as três leituras marcadas.

O empolamento do solo é a relação entre a área de elevação e área mobilizada do solo (GAMERO e LANÇAS, 1996). Essa relação exprime o percentual de expansão que o solo sofreu em relação à condição original, decorrente do preparo exercido por um implemento, conforme equação abaixo:

$$Emp. = \frac{Ae}{Am} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Emp - empolamento do solo (%)

Ae - área de elevação (m²)

Am - área mobilizada (m²).

3.2.2 Força e potência média na barra de tração

Os dados de força coletados pelo *datalogger* via célula de carga, foram divididos em grupos relativos aos 15 m de cada repetição de cada tratamento. Sendo assim, para cada grupo de dados efetuou-se uma média para representar a condição estudada. Porém, esse valor bruto não representa a demanda somente do tratamento, mas sim a soma da demanda de força de tração do tratamento aplicado somada à resistência ao rolamento da estrutura porta-ferramentas (EPF). Essa resistência ao rolamento (Rrol) consiste na força necessária que o trator exerce para tracionar a EPF sem o acoplamento dos elementos descompactadores. Essa foi determinada mediante coleta de quatro amostras, onde o trator com a EPF acoplada percorreu 15 m sem a presença dos elementos descompactadores. Então, para se conhecer o dado real de força média na barra de tração usou-se a equação abaixo:

$$FMBT = FBT - Rrol \quad (2)$$

Onde:

FMBT – Força média na barra de tração (kN);

FBT – Força na barra de tração (kN);

Rrol – Resistência ao rolamento (kN).

A potência foi calculada mediante a equação abaixo:

$$PMBT = \frac{FMBT \times Vr}{3600} \quad (3)$$

Onde:

PMBT – Potência média na barra de tração (kW);

FMBT – Força média na barra de tração (kN);

Vr – velocidade real de deslocamento (Km h⁻¹).

3.2.3 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível (Ch) foi obtido através de um fluxômetro. Basicamente esse equipamento é composto por duas engrenagens internas que, quando 1 ml de combustível passa através delas, elas giram próximas de um ímã, esse é sensibilizado e emite um sinal em forma de pulso (Pul), armazenado pelo *datalogger*. A frequência de emissão de pulsos é variável e dependente da taxa de aquisição, que no trabalho foi de uma leitura a cada dois segundos. Para o cálculo do consumo, usou-se o esquema abaixo:

- 1 pulso = 1 ml
- taxa de aquisição = 1 pulso a cada 2 segundos = 1 ml a cada 2 segundos
- 30 ml por minuto x 60 minutos;
- 1800 ml por hora ou 1,8 litros por hora;

Sendo assim, um pulso emitido pelo fluxômetro equivale a 1,8 litros de combustível por hora trabalhada. Para o conhecimento do consumo de combustível de determinada situação, multiplica-se o número de pulsos por 1,8, conforme equação abaixo:

$$\text{Ch}(1 \text{ h}^{-1}) = \text{Pul} \times 1,8 \quad (4)$$

3.2.4 Consumo específico operacional

O consumo específico operacional é a relação da energia consumida por unidade de potência (consumo específico e área de solo mobilizada). Esse dado foi obtido utilizando as variáveis consumo horário de combustível, área de solo mobilizada e potência na barra de tração, conforme metodologia proposta por Gamero e Lanças (1996). Para obter o consumo específico operacional, primeiramente calculou-se o consumo específico, através das equação abaixo 5 e 6.

$$C_e = \left(\frac{C_h}{P_b} \right) \quad e \quad C_{eO} = \left(\frac{C_e}{A_m} \right) \quad (5 \text{ e } 6)$$

Onde:

C_e - Consumo específico (l kW h⁻¹);

C_{eO} - Consumo específico operacional (l kW h m⁻²);

A_m - área de solo mobilizada (m²);

C_h - consumo horário de combustível (l h⁻¹);

PMBT - Potência na barra de tração (kW).

3.2.5 Patinamento

A determinação do patinamento ocorreu através da relação entre duas variáveis, velocidade real de deslocamento (velocidade da roda odométrica) e velocidade da roda motriz do trator. O funcionamento do sistema de aferição dessas velocidades foi explicado no item 4.1.6. A velocidade foi obtida pela seguinte equação:

$$V_r = \frac{(\text{Freq} \times \text{Per} \times 3,6)}{n} \quad (7)$$

Onde:

V_r – Velocidade real de deslocamento (Km h⁻¹);

Freq. – Frequência armazenada pelo *datalogger* (Hz);

Per – Perímetro da roda (m);

n – Número de dentes da engrenagem.

Tanto a velocidade da roda odométrica quando a da roda motriz foram conhecidas através da equação acima, porém modificando itens peculiares para cada variável como o perímetro da roda, número de dentes da engrenagem e frequência captada pelo sensor. Com as duas velocidades, procedeu-se o cálculo do patinamento, segundo metodologia desenvolvida por Gabriel Filho et al. (2004). A patinagem média (P) foi obtida através da equação 8:

$$P = \left\{ 1 - \left(\frac{V_r}{V_t} \right) \right\} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

P – Patinamento (%);

V_r = velocidade real de deslocamento (km h^{-1});

V_t = velocidade da roda motriz (km h^{-1});

3.2.6 Velocidade de deslocamento

As velocidades teóricas de deslocamento escolhidas foram 3,0, 6,0 e 9,0 Km h^{-1} , essas foram enquadradas entre os limites estabelecidos por Gamero e Lanças (1996), entre 3,5 e 8,5 Km h^{-1} e Ortiz-Cañavete (2003), até 10 Km h^{-1} . As velocidades reais de deslocamento foram adotadas mediante a escolha, através do diagrama de velocidades, das marchas do trator que correspondessem a valores próximos aos valores teóricos. As marchas escolhidas foram 1R, 2S e 4R (1ª, 4ª e 7ª) e, por observar que essas marchas correspondiam a velocidades um pouco superiores às escolhidas, a rotação foi reduzida de 2200 para 2000 RPM, com o intuito de adequar o máximo possível. Para a aprovação das marchas e velocidades de deslocamento, foram feitos testes previamente, cronometrando o tempo percorrido pelo conjunto trator-EPF em uma distância conhecida. As médias das velocidades reais de deslocamento encontradas através da roda odométrica foram 2,98, 5,80 e 8,89 Km/h para V1, V2 e V3, respectivamente.

3.2.7 Resistência específica operacional

A resistência específica operacional foi a principal variável de estudo. Sua obtenção é indireta e oriunda da relação entre os dois principais quesitos, a força média na barra de tração e a área de solo mobilizado, conforme metodologia proposta por Gamero e Lanças (1996). A equação 9 exemplifica as variáveis envolvidas no cálculo da resistência específica operacional:

$$R_{eO} = \left(\frac{F_{MBT}}{A_m} \right) \quad (9)$$

Onde:

R_{eO} – resistência específica operacional (kN m^{-2});

F_{MBT} – Força de tração média (kN);

A_m – Área de solo mobilizado (m^2).

3.2.8 Delineamento experimental e análise dos dados

O delineamento utilizado foi blocos casualizados em um esquema trifatorial $3 \times 2 \times 3$, com parcelas subdivididas, onde os fatores foram Presença de disco de corte (PDC), velocidade de deslocamento (V) e elementos descompactadores (EDs). Foram escolhidas três velocidades e três EDs, além da presença de um disco de corte de palha à frente dos EDs em metade dos tratamentos. Previamente à realização do trabalho, foram casualizados os tratamentos e distribuídos na área já estaqueada. Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Foram testadas a normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias, através do teste de Kolmogorov-Smirnov e Cochran, respectivamente. Foi utilizado o software Assistat 7.6 Beta (2012) para todas as análises estatísticas do trabalho.

3.2.9 Organização do experimento

A área experimental foi escolhida por situar-se em um talhão onde o sistema de semeadura direta apresentava-se consolidado e houve indícios de compactação, pelo trânsito intenso de máquinas, justificando a intervenção. No período que compreendeu a colheita da cultura de verão (soja) e a realização do experimento, a área foi dessecada para que não houvesse a presença de grandes quantidades de palha em superfície. No período que antecedeu a aplicação dos tratamentos, a área foi demarcada com estacas, individualizando cada bloco (FIGURA 12). O local onde posteriormente foi posicionado o perfilômetro

também foi demarcado, bem como os limites entre as repetições dos tratamentos. Na semana que antecedeu o experimento foram coletadas amostras para a análise de densidade e textura do solo. Já a umidade e resistência à penetração foram coletadas no dia da aplicação dos tratamentos. Após a coleta dos dados as amostras foram encaminhadas ao LASERG para efetuar as respectivas análises.

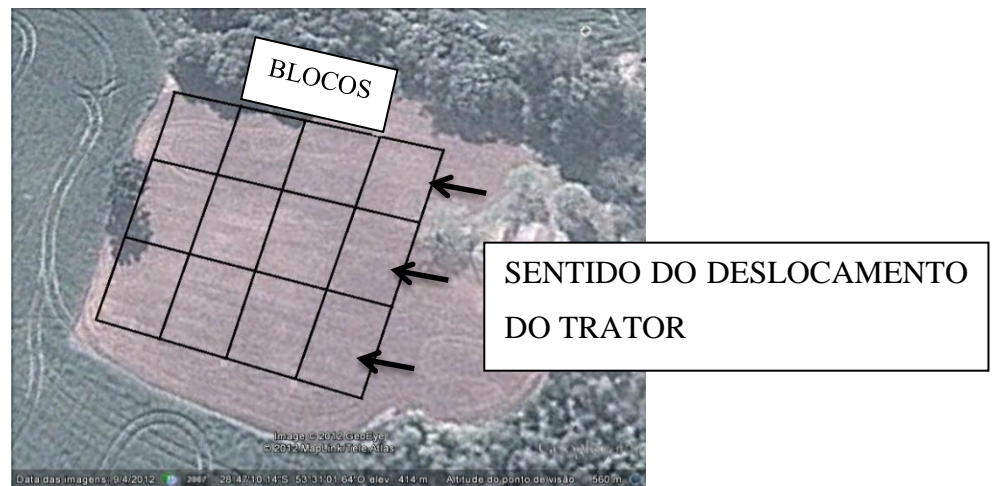


Figura 13 - Croqui da área experimental, demarcação do sentido de deslocamento e da localização dos blocos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados foram submetidos a análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. Na tabela 5 estão dispostos os resultados da ANOVA.

Tabela 5 - Análise estatística ANOVA, com as médias dos fatores, seus níveis e os resultados do teste F.

Fatores	Variáveis								
	Ae (cm ²)	Am (cm ²)	Emp (%)	Pat (%)	Ch (l/h)	CeO (l kw h m ²)	FTm (kN)	PMBT (kW)	ReO (kN/m ²)
ED									
EDA	146,00 c	807,69 a	18,88 b	4,92	7,76 a	11,36 b	6,94 b	11,69 b	86,78 b
EDB	214,10 b	611,47 b	37,99 a	4,14	7,09 b	20,75 a	4,47 c	7,65 c	78,31 b
EDC	324,00 a	861,94 a	38,64 a	3,69	7,94 a	8,72 c	8,67 a	15,01 a	103,30 a
PDC									
Sem disco	230,20	751,10	31,94	3,23 b	7,73 a	13,80	6,08 b	10,68 b	83,05 b
Com disco	225,90	769,60	31,73	5,27 a	7,46 b	13,03	7,31 a	12,22 a	95,88 a
VELOCIDADE									
3 Km/h	269,30 a	777,69	35,47	4,55	6,59 c	20,61 a	5,85 c	4,85 c	75,45 b
6 Km/h	207,60 b	733,59	31,93	3,40	7,56 b	12,27 b	6,72 b	10,88 b	95,70 a
9 Km/h	207,20 b	769,82	28,11	4,80	8,63 a	7,37 c	7,50 a	18,62 a	97,25 a
CV e MG									
CV (%)	33,56	17,06	43,61	64,37	3,38	24,97	6,06	6,22	21,72
Média geral	228,05	760,37	31,84	4,25	7,60	13,41	6,69	11,45	89,46
Teste F									
ED (F1)	5,24**	24,76**	15,67**	1,23ns	72,70**	91,79**	647,97**	643,91**	10,27**
PDC (F2)	0,06ns	0,36ns	0,01ns	9,97**	20,08**	0,96ns	163,12**	85,43**	7,85**
Velocidades (F3)	33,05**	0,79ns	1,68ns	1,78ns	380,57**	95,77**	96,54**	2252**	9,40**
F1 X F2	1,20ns	7,94**	3,52*	4,11*	11,59**	23,01**	155,56**	200,71**	4,71*
F1 X F3	0,30ns	2,58*	0,81ns	3,40*	5,35**	6,81**	11,70**	99,51**	1,93ns
F2 X F3	3,41*	0,02*	0,29ns	4,37*	10,66**	0,64ns	10,48**	14,78**	1,40ns
F1 X F2 X F3	0,84ns	0,93ns	0,50ns	1,19ns	7,98**	1,44ns	5,18**	35,06**	0,81ns

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* significativo ao nível de 5% probabilidade ($P \geq 0,05$) ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$).

^{NS} não significativo ($p \geq 0,05$).

4.1 Área de elevação do solo

Os dados da área de elevação do solo (A_e) foram submetidos à análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificada interação entre os fatores presença de disco de corte e velocidade de deslocamento. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi 33,56 %, mostrando que o número de amostras, para essa variável não foi suficiente.

Analisando os resultados dispostos na tabela 5, pode-se perceber que a presença do disco de corte não alterou os valores de área de elevada do solo (A_e). O aumento da velocidade de deslocamento do conjunto proporcionou redução na área de elevação do solo, diminuindo 23% nessa variável quando houve incremento de 2,98 para 5,80 Km h^{-1} . Esse efeito provocado pelo aumento da velocidade de deslocamento fica visível quando se observa a figura 14, onde estão dispostas duas imagens de dois tratamentos aplicados a um ED com disco de corte, uma a 2,98 Km h^{-1} (FIGURA 14a) e outra a 5,80 Km h^{-1} (FIGURA 14b). De acordo com Carvalho Filho et. al, (2008), essa redução na área de elevação do solo não é benéfica do ponto de vista conservacionista, pois um menor valor significa que o tratamento aplicado foi pouco eficiente na redução da densidade do solo ou descompactação.



Figura 14 – Aspecto visual da área de elevação do solo de um mesmo elemento descompactador com disco de corte a 2,98 Km h^{-1} (a) e a 5,80 Km h^{-1} (b).

Analisando a tabela 6, nota-se que ocorreu diferença significativa entre os elementos descompactadores (EDs). O EDC obteve o maior valor, 51 e 122% maior que o EDB e EDA, respectivamente.

Tabela 6 - Valores médios da área de elevação do solo (cm²) para os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento.

Elementos descompactadores	Ae (cm ²)	Velocidades de deslocamento (Km h ⁻¹)	Ae (cm ²)
EDA	146,04 c*	2,98	269,36 a
EDB	214,07 b	5,80	207,63 b
EDC	324,05 a	8,89	207,18 b

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

Os dados de área de elevação do solo referentes ao EDA e EDB são superiores aos encontrados por Carvalho Filho et al. (2008), que comparou um escarificador a 0,25 m de profundidade com diferentes implementos de preparo de solo (arado de aivecas, grade aradora e arado de discos). Os dados são similares aos encontrados por Klein (1990), que avaliou quatro elementos descompactadores a 0,20 m de profundidade e Rosa (2007) que estudou o desempenho de um elemento descompactador com formato parabólico a 0,25 m de profundidade. Entretanto, a área de elevação do solo do EDC é superior em relação aos trabalhos analisados anteriormente.

O coeficiente de variação (C.V) encontrado foi de 33,56%, indicando que o número de amostras por repetição de tratamento, para essa variável estudada, não foi suficiente, necessitando aumento.

4.2 Área de solo mobilizado

Os dados da área de solo mobilizado (Am) foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificado interação entre os fatores elementos

descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC), Elementos descompactadores e Velocidade de deslocamento e presença de disco de corte e velocidade de deslocamento. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi 17,06 %, mostrando que o número de amostras, para essa variável, foi suficiente.

Na tabela 7 estão apresentados as médias e os resultados da interação entre os fatores presença de disco de corte (PDC) e elementos descompactadores (EDs) para a variável área de solo mobilizado (Am). Os EDA e EDC obtiveram as maiores médias de Am e não diferiram entre si e o EDB obteve a menor média de Am. Isso pode ser atribuído a menor largura da ponteira do EDB, de 0,037 m, em comparação ao EDA e EDC, com 0,05 e 0,055 m, respectivamente. Isso comprova o que Souza (1989) observou em um estudo, onde analisou a influência da largura da ponteira de elementos descompactadores sobre parâmetros operacionais e constatou que o aumento desta promove incremento na área de solo mobilizado.

Observando a tabela 7, nota-se que a condição com disco de corte à frente dos EDs, apesar de não ter diferença significativa, promoveu diferentes comportamentos da Am. Para o EDA não ocorreu diferença, já para o EDB houve redução e para o EDC observou-se aumento nessa variável.

Tabela 7 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para área de solo mobilizado (cm²).

EDs	Presença de disco de corte		Média EDs (cm ²)
	Sem disco (cm ²)	Com disco (cm ²)	
EDA	759,54 aA*	855,86 aA	807,69 a
EDB	688,26 aA	534,68 bB	611,47 b
EDC	805,58 aB	918,29 aA	861,94 a
Médias (cm ²)	751,13	769,61	-

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

Carvalho Filho, et al. (2008), compararam diferentes implementos de preparo de solo em um LATOSSOLO Vermelho e observaram valores de área mobilizada de 420 cm² para o escarificador utilizado. Com base nisso pode-se inferir que mesmo o EDB, que obteve os menores valores, supera os resultados encontrados por estes autores, pois eles também utilizaram a mesma profundidade do presente trabalho, 0,25 m.

Rosa et al. (2008), trabalharam em um Argissolo com um escarificador de hastes parabólicas, equipamento semelhante ao formato do EDA. Os autores encontraram valores de área de solo mobilizado muito inferiores aos do EDA e das demais (EDB e EDC), mostrando um desempenho superior desse elemento (EDA) em solos mais argilosos. Além disso, o perfil da mobilização do ARGISSOLO foi mais estreito em relação ao de um LATOSSOLO, evidenciando a importância da regulagem no espaçamento entre as hastes, com tendência a utilizar espaçamentos menores em solos arenosos e maiores em argilosos.

Na tabela 8 estão organizados os dados resultantes da interação entre os fatores EDs e velocidade de deslocamento para a variável área de solo mobilizado (cm²). Não houve diferença significativa entre os EDs nas velocidades 2,98 e 8,89 km/h. O aumento da velocidade não implicou em elevação da área de solo mobilizado, para todas os EDs. Esses resultados estão de acordo com os dados de área de solo mobilizado encontrados por Gassen (2011), que trabalhou com as velocidades de 3, 6 e 7 Km/h e Gamero (2008), que avaliou um subsolador de hastes com curvatura lateral do tipo “paraplow”, e também não encontrou variação na área de solo mobilizada com o aumento da velocidade de deslocamento.

Tabela 8 - Interação dos fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento na variável área de solo mobilizado (cm²).

EDs	Velocidades de deslocamento (Km h ⁻¹)			Médias (cm ²)
	2,98	7,80	8,89	
EDA	776,31 abA*	866,39 aA	780,40 abA	807,69 a
EDB	684,68 bA	502,96 bB	646,78 bAB	611,47 b
EDC	872,10 aA	831,41 aA	882,29 aA	861,94 a
Médias (cm ²)	777,70	733,57	769,82	

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

4.3 Empolamento do solo

Os dados de empolamento do solo (Emp) foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificado apenas interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC). Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi 43,61 %, elevado em relação às demais variáveis, porém similar aos de Lanças (1988) e Klein (1990). Esse CV alto demonstra que o número de amostras, para essa variável, não foi suficiente, necessitando aumento.

Os resultados médios e a interação entre os fatores presença de disco de corte (PDC) e elementos descompactadores (EDs) para o empolamento do solo (Emp) são apresentados na tabela 9. A média do Emp para o EDA foi inferior às demais. Apesar do valor menor, ele assemelha-se ao encontrado por Carvalho Filho et al. (2008). Já o Emp da operação com os EDB e EDC aproximam-se aos resultados encontrados por Klein (1990), que comparou quatro tipos de elementos descompactadores, indicando que todos os dados estão dentro dos padrões normais encontrados na literatura. Porém o coeficiente de variação (CV) é elevado (43,61%) e, segundo Lanças (1988), quando isso acontece os dados podem ser usados como referência, mas sem serem conclusivos. Esse CV elevado pode ter sido provocado pela variável área de elevação do solo, que compõe a equação para o cálculo do empolamento do solo, que também obteve coeficiente de variação alto. Isso pode ser atribuído a um número de amostras insuficiente para a essa variável de estudo.

Tabela 9 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para o empolamento do solo (%).

PDC	Elementos descompactadores			Médias (%)
	EDA	EDB	EDC	
Sem disco	24,30 aB*	32,77 aAB	38,76 aA	31,94
Com disco	13,47 aB	43,23 aA	38,51 aA	31,74
Médias (%)	18,89 b	38,00 a	38,64 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4 Patinamento

Os dados de patinamento foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Houve interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC), EDs e velocidade de deslocamento e PDC e velocidade de deslocamento. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi o mais elevado entre as variáveis estudadas (64,37 %), mostrando que o número de amostras, para essa variável, não foi suficiente.

Segundo ASAE (1989), o valor do patinamento para que o trator obtenha a máxima eficiência de tração deve ficar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos.

Sendo assim, observando a interação entre os fatores EDs e PDC, apresentada na tabela 10, nota-se que o patinamento ficou abaixo do empregado pela literatura, não ultrapassando os 6 %. Além disso, não houve diferença significativa entre os EDs, evidenciando a afirmativa de que o esforço promovido pelos EDs foi aquém da capacidade de tração do trator. Os dados aquém do recomendado podem ser explicados pelo fato de que a massa e potência do trator, utilizado para tracionar a estrutura porta-ferramentas (EPF), são bastante elevados e o esforço de tração durante as operações foi aquém da capacidade do trator. Entretanto, foram retirados todos os lastros metálicos e foi deixado apenas 25 % de água nos pneus traseiro na tentativa de adequar o trator a operação, mas mesmo assim os valores de patinamento foram baixos, e os resultados mostraram que a tentativa não teve êxito. Entretanto, o patinamento do trator na condição com disco de corte foi maior em relação à condição sem disco, pois o disco promoveu uma maior força média na barra de tração, oferecendo resistência ao deslocamento do trator e aumentando o patinamento.

Tabela 10 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para a variável patinamento (%).

EDs	Presença de disco de corte		Média EDs (%)
	Sem disco (%)	Com disco (%)	
EDA	4,90 aA*	4,94 aA	4,92
EDB	3,35 abA	4,93 aA	4,14
EDC	1,45 bB	5,94 aA	3,70
Médias (%)	3,23 b	5,27 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando a tabela 11, onde estão apresentados as médias e interações entre os fatores EDs e velocidade de deslocamento para a variável patinamento, observa-se que em média essa variável não foi alterada mediante aumento da velocidade de deslocamento, independentemente do EDs estudado e da velocidade de deslocamento analisada. Houve uma redução no patinamento do EDA na velocidade de $7,80 \text{ Km h}^{-1}$, sendo essa constatação atribuída ao acaso.

Tabela 11 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para a variável patinamento (%).

EDs	Velocidades de deslocamento (Km h^{-1})			Médias (%)
	2,98	7,80	8,89	
EDA	5,71 aA*	1,98 aB	7,08 aA	4,92
EDB	3,44 aA	4,50 aA	4,48 abA	4,14
EDC	4,51 aA	3,73 aA	2,85 bA	3,70
Médias (%)	4,55	3,40	4,80	

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.5 Força média na barra de tração

Os dados da força média na barra de tração (FMBT) foram submetidos a análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificada interação tripla entre os fatores estudados. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação apresentou-se baixo, em 6,06 %, mostrando que o número de amostras, para essa variável, foi suficiente.

Na tabela 12 estão apresentadas as médias da força média na barra de tração para os três fatores estudados e a interação entre elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento. Em média o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou aumento da FMBT. Em todas as velocidades de deslocamento houve uma clara diferenciação entre os EDs. A FMBT do EDB foi inferior em todas as velocidades, isso significando diferenças de 80% e 45% menos em relação aos EDC e EDA, à 2,98 Km h⁻¹, respectivamente. Para as duas outras velocidades, também houve diferença significativa, comprovando a superioridade no projeto do EDB quanto às características para uma operação de baixa demanda de força de tração. Gassen (2011), ao estudar o comportamento de um sistema de escarificação simultânea em três velocidades, concluiu que o aumento da velocidade proporciona aumento na demanda de tração do elemento descompactador. Isso pode ser explicado pelo aumento da resistência do solo ao cisalhamento pelo aumento da velocidade de deslocamento e, conseqüentemente, elevando o esforço de tração para a mobilização do solo.

Tabela 12 - Médias e interações entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para a variável força média na barra de tração (kN).

Elementos descompactadores	Velocidade de deslocamento (Km h ⁻¹)			Médias (kN)
	2,98	5,80	8,89	
EDA	6,28 bB*	7,45 bA	7,49 bA	7,07 b
EDB	3,92 cB	4,65 cA	5,10 cA	4,56 c
EDC	7,70 aC	8,52 aB	10,29 aA	8,84 a
Médias (kN)	5,97 c	6,87 b	7,63 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

Para entender a influência dos fatores presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento sobre a força média na barra de tração dos elementos descompactadores (EDs), pode-se observar a interação tripla apresentada na tabela 13. Na condição sem disco de corte, a FMBT dos EDA e EDB foi semelhante nas velocidades 5,80 e 8,89 Km h⁻¹ e esses EDs diferiram apenas na menor velocidade de deslocamento. Entretanto o EDC, para essa condição, sempre apresentou FMBT significativamente maior. Outro ponto importante que pode ser observado, é o comportamento da FMBT demanda pelos EDs mediante a condição onde o disco de corte esteve presente nos tratamentos. A FMBT dos EDA e EDC foi sensivelmente elevada nessa condição, independente da velocidade de deslocamento. Entretanto, com o EDB a condição observada foi outra, onde não ocorreu agravamento da FMBT com a presença do disco de corte, concordando com os resultados de Camacho e Magalhães (2004), que estudaram a influência de um disco de corte de palha à frente de elementos descompactadores para escarificação.

Tabela 13 - Médias e interação tripla entre os elementos descompactadores (EDs), presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento para a variável força média na barra de tração (kN).

EDs	PDC	Velocidade de deslocamento (Km h ⁻¹)			EDs x PDC (kN)
		2,98	5,80	8,89	
EDA	sem disco	5,01 cB*	5,24 cAB	5,79 cA	5,34
	com disco	7,56 abB	9,66 aA	9,20 bA	8,80
EDB	sem disco	3,99 dC	4,85 cB	5,94 cA	4,92
	com disco	3,85 dA	4,45 cA	4,27 dA	4,19
EDC	sem disco	7,17 bB	7,79 bB	10,04 abA	8,33
	com disco	8,24 aC	9,26 aB	10,54 aA	9,34
Médias (kN)		5,97 c	6,87 b	7,63 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

Em média a força média na barra de tração (FMBT) na condição com disco de corte foi maior em comparação a situação sem disco de corte. Esses resultados vão de encontro aos resultados encontrados por Germino (2004), que avaliou duas hastes em quatro profundidades

(0,13; 0,23; 0,28 e 0,33 m) com e sem disco de corte e não observou diferença significativa na FMBT das hastes com e sem disco de corte à frente, e Levien et al. (2004), que observou uma redução da FMBT com a presença do disco de corte. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou aumento na FMBT, indo de encontro ao que Machado et al. (1996) observou, ao estudar a influência do teor de água e da velocidade de deslocamento no desempenho de um escarificador.

4.6 Potência média na barra de tração

Os dados da potência média na barra de tração (PMBT) foram submetidos a análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificada interação tripla entre os fatores elementos descompactadores, presença de disco de corte e velocidade de deslocamento. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi de 6,22 %, evidenciando que o número de amostras e de repetições, para essa variável, foram suficientes.

Na tabela 14 estão os resultados médios e a interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para a PMBT. Em média, a operação com disco de corte provocou aumento de 14,51 % na PMBT, podendo representar, por exemplo, a redução de uma haste em um implemento com 7 hastes, em comparação com um sem disco. O efeito da PDC na PMBT foi mais acentuada no EDA, onde o acréscimo do disco de corte promoveu aumento de 69% na PMBT. Além disso, na interação PDC e EDs, a condição com disco se comportou de forma distinta entre os EDs, o EDA e C tiveram os valores de PMBT aumentados com o acréscimo do disco de corte, porém com o EDB ocorreu o inverso, houve redução. Isso pode ser atribuído a maior força média na barra de tração na condição com disco de corte e essa, podendo ser atribuída à escolha de uma profundidade de trabalho elevada ou pelo diâmetro do disco elevado, necessitando de maiores estudos para a compreensão dessa relação.

Observando a tabela 14, nota-se que houve diferença estatística entre os EDs, sendo que EDB obteve uma PMBT significativamente menor em relação os demais EDs, seguido do EDA e por último, com maior PMBT, o EDC. Na média os EDA e EDC obtiveram PMBT 52,75 e 96,16% maior, respectivamente, em comparação ao EDB. Independentemente do

elemento descompactador, o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou incremento na FMBT. Essa constatação vai ao encontro do que Machado et al. (1996) verificou em seu trabalho, ao estudar um escarificador em três velocidades e duas umidades em um PLANOSSOLO, ele concluiu que a potência demandada pelo escarificador aumenta em função do incremento na velocidade de deslocamento.

Tabela 14 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC) para a potência média na barra de tração (kW).

Elementos descompactadores	Presença de disco de corte		Médias (kW)
	Sem disco	Com disco	
EDA	8,87 bB *	14,99 bA	11,93 b
EDB	8,90 bA	6,71 cB	7,81 c
EDC	14,91 aB	15,73 aA	15,32 a
Médias (kW)	10,89 b	12,48 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na tabela 15 estão as médias da PMBT e as interações EDs x velocidade de deslocamento e PDC x velocidade de deslocamento. Em média, o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou um incremento da PMBT para cada nível desse fator, sendo 124% e 71% de acréscimo promovido pela elevação de 2,98 para 5,80 e dessa para 8,89 Km h⁻¹, respectivamente. Na interação entre os fatores EDs e velocidade a elevação na PMBT é observada em todos os EDs, independentemente da velocidade de deslocamento observada. Isso evidencia que a escolha das velocidades de deslocamento deve ser observada criteriosamente pois a escolha pode proporcionar grandes elevações na demanda de potência do implemento. Da mesma forma, na interação entre PDC e Velocidades, houve diferença estatística com o incremento da velocidade de deslocamento, independente da presença ou não do disco de corte.

Tabela 15 - Médias e interações entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento e presença de disco de corte e velocidade de deslocamento para a variável potência média na barra de tração (kW).

Elementos descompactadores	Velocidade de deslocamento (Km h ⁻¹)			Médias (kW)
	2,98	5,80	8,89	
EDA	5,10 bC*	12,18 bB	18,51 bA	11,93 b
EDB	3,26 cC	7,36 cB	12,78 cA	7,81 c
EDC	6,50 aC	13,75 aB	25,70 aA	15,32 a
Sem disco	4,47 bC	9,65 bB	18,55 bA	10,89 b
Com disco	5,44 aC	12,55 aB	19,44 aA	12,48 a
Médias (kW)	4,95 c	11,10 b	19,00 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

4.7 Consumo horário de combustível

Os dados do consumo horário de combustível (Ch) foram submetidos a análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificada interação tripla entre os fatores estudados. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação apresentou-se baixo, em 3,38 %, evidenciando que o número de amostras e de repetições, para essa variável, foram suficientes.

Na tabela 16, pode-se visualizar as médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC), para o consumo horário de combustível (l h⁻¹). As médias do consumo horário de combustível (Ch) dos EDA e EDC foram semelhantes entre si e superiores estatisticamente ao EDB. Isso porque os EDA e EDC possuem maior ponteira e, por conta disso, mobilizam mais solo e, por conta disso, obtiveram maior força de tração e, conseqüentemente, um consumo energético maior. Entretanto, ao analisar a média do fator PDC, observa-se que a condição com disco promoveu a redução significativa do consumo horário de combustível do trator. Entretanto, ao analisar a interação, observa-se que somente houve redução do consumo com a presença do disco para o EDB. Essa redução pode ser atribuída a uma menor força média na barra de tração decorrente de

uma menor área de solo mobilizado efetuada pelo EDB, essas condições decorrentes das características geométricas da ferramenta, como menor largura da haste e ponteira. Por outro lado, os dados evidenciam a possibilidade de aproveitamento desse órgão ativo em um equipamento de baixo consumo energético para sistemas conservacionistas.

Tabela 16 - Interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte para a variável consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).

Elementos descompactadores	Presença de disco de corte		Médias ($l\ h^{-1}$)
	Sem disco	Com disco	
EDA	7,81 aA*	7,71 aA	7,76 a
EDB	7,43 bA	6,75 bB	7,09 b
EDC	7,95 aA	7,92 aA	7,94 a
Médias ($l\ h^{-1}$)	7,73 a	7,46 b	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Embora a condição com disco de corte tenha proporcionado aumento da força média na barra de tração, como foi observado no item 5.5, essa elevação não foi revertida em incremento no consumo de combustível. Quando um trator, com motor de grande potência e torque, sofre um esforço muito aquém de sua capacidade de tração, esse incremento no esforço de tração pode não ser convertido em aumento do combustível, condição verificada no trabalho.

Ao analisar os resultados das médias e a interação entre os fatores PDC e velocidade de deslocamento para a variável consumo horário de combustível (TABELA 17), nota-se que independentemente da presença ou não do disco de corte à frente dos elementos descompactadores, houve aumento gradual no consumo horário de combustível decorrente da elevação da velocidade de deslocamento. Observando conjuntamente a média do consumo horário de combustível e da força média na barra de tração decorrentes do incremento do fator velocidade de deslocamento, nota-se que o aumento da velocidade de deslocamento de 2,98 para 5,80 e dessa para 8,89 $Km\ h^{-1}$, proporcionou elevação no consumo horário de combustível de 14,72 e 14,15%, respectivamente, incremento esse bastante similar ao da força

média na barra de tração, que foi de 15,07 e 10,91%, respectivamente, para a mesma variação da velocidade de deslocamento.

Tabela 17 - Interação entre os fatores velocidade de deslocamento e presença de disco de corte (PDC) para a variável consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).

Presença de disco de corte	Velocidade de deslocamento ($Km\ h^{-1}$)			Médias ($l\ h^{-1}$)
	2,98	5,80	8,89	
Sem disco	6,58 aC*	7,66 aB	8,95 aA	7,73 a
Com disco	6,61 aC	7,46 aB	8,31 bA	7,46 b
Médias ($l\ h^{-1}$)	6,59 c	7,56 b	8,63 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando os resultados da tabela 18, que aborda as médias e a interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento, pode-se observar que o consumo horário de combustível do EDB foi menor valor em todas as velocidades, entretanto diferiu estatisticamente das demais nas velocidades de deslocamento 5,80 e 8,89 $km\ h^{-1}$.

O efeito do aumento no consumo horário de combustível em decorrência da elevação na velocidade de deslocamento, também foi observado por Gassen (2011). Isso pode ser explicado pelo aumento da resistência do solo à deformação quando aumentada a velocidade, imprimindo uma maior demanda de força ao trator e, conseqüentemente, aumentando a exigência de combustível. Gamero (2008), também observou esse comportamento, entretanto ao analisar o consumo por hectare de área trabalhada, constatou que a medida que há um aumento da velocidade o consumo por área diminui, podendo ser uma alternativa de uso em áreas com períodos de semeadura estreitos.

Tabela 18 - Interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para o consumo horário de combustível ($l h^{-1}$).

Elementos descompactadores	Velocidade de deslocamento ($Km h^{-1}$)			Médias ($l h^{-1}$)
	2,98	5,80	8,89	
EDA	6,59 abC*	7,84 aB	8,85 aA	7,76 a
EDB	6,35 bC	6,85 bB	8,08 bA	7,09 b
EDC	6,83 aC	8,00 aB	8,98 aA	7,94 a
Médias ($l h^{-1}$)	6,59 c	7,56 b	8,63 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando a figura 15, nota-se que o efeito do aumento da velocidade na variável consumo de combustível foi semelhante para os três elementos descompactadores. A equação de regressão linear utilizada foi bastante eficiente em determinar o comportamento dessa variável de estudo, pois os coeficientes de correlação (R^2) apresentaram-se próximos de 1.

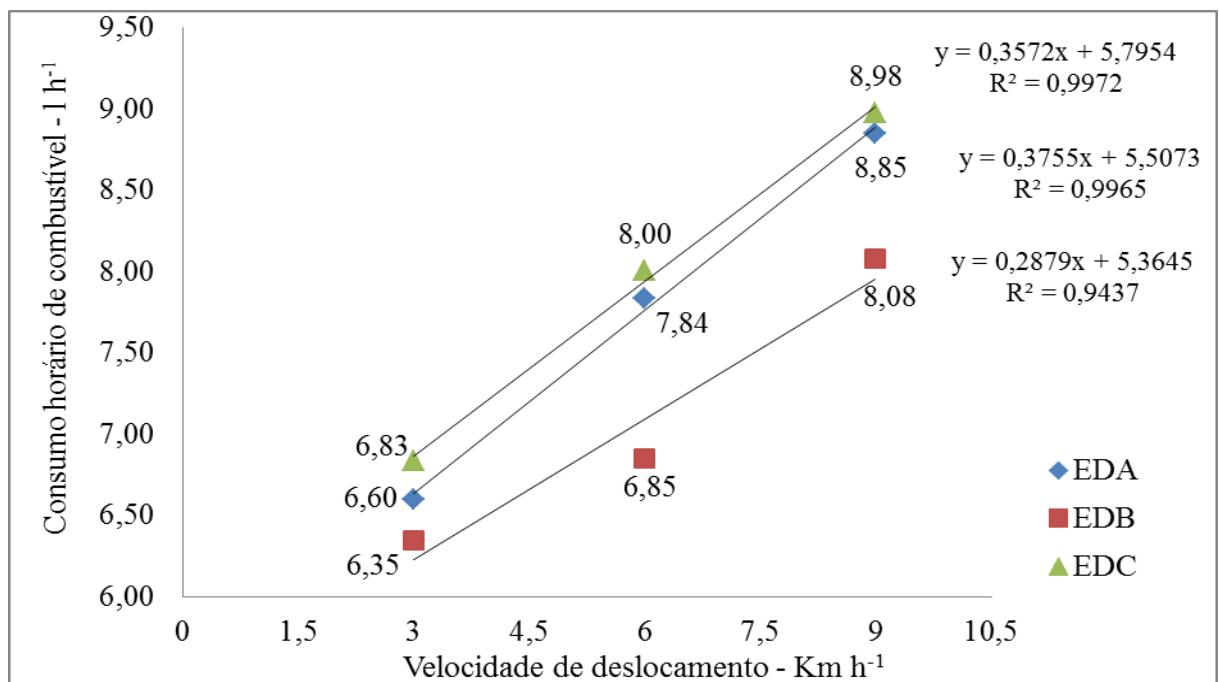


Figura 15 - Gráfico da análise de regressão da interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para o consumo horário de combustível.

4.8 Consumo específico operacional

Os dados do consumo específico operacional (CeO) foram submetidos à análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificada interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte e elementos descompactadores e velocidade de deslocamento. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi de 24,97 %, evidenciando que o número de amostras e de repetições, para essa variável, foram suficientes.

Na tabela 19 estão dispostas as médias do consumo específico operacional (CeO) e as interações entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento. Houve diferença estatística entre as médias do consumo específico operacional (CeO) dos elementos descompactadores (EDs), sendo EDB com maior valor, seguido do EDA, e com menor valor em relação às demais, o EDC. Já no fator PDC, não ocorreu aumento significativo no CeO para a condição sem disco de corte, isso porque na condição com disco ocorreu redução no consumo horário de combustível e potência média na barra de tração. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou, para todos os EDs, redução no CeO, onde em todos os níveis o EDB obteve o maior CeO.

Tabela 19 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento para o consumo específico operacional (1 kw h m^{-2}).

Elementos descompactadores	Velocidade de deslocamento (Km h^{-1})			Médias (1 kw h m^{-2})
	2,98	5,80	8,89	
EDA	18,23 bA*	8,44 bB	6,80 bB	11,15 b
EDB	29,99 aA	20,17 aB	10,84 aC	20,33 a
EDC	12,38 cA	7,46 aB	4,04 bB	7,96 c
Médias (1 kw h m^{-2})	20,20 c	12,02 b	7,23 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao estudar a influência da velocidade de deslocamento (1,95; 2,38 e 2,76 Km h⁻¹) e da profundidade dos elementos descompactadores de um escarificador (0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m) sobre parâmetros operacionais, Fernandes et al. (2001), constatou que o incremento na velocidade de deslocamento reduz o CeO e, além disso, observou que o aprofundamento dos EDs também reduzem essa variável. Em um estudo semelhante, nas mesmas profundidade do estudo anterior, porém com velocidades maiores (2,0; 3,0 e 5,0 Km h⁻¹), Fernandes et al. (2007) também constaram que o aumento da velocidade e profundidade aumentam o CeO. Ao analisar o CeO desses dois estudos, percebe-se que em condições similares ao presente trabalho, velocidade próxima de 3,0 Km h⁻¹ e 0,25 m de profundidade, o CeO encontrado foram superiores aos dos EDs estudados a 2,98 Km h⁻¹ e 0,25 m de profundidade e também nas demais condições.

Na tabela 20, pode-se observar que na interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte, o consumo específico operacional para o EDA e EDB sem a presença do disco de corte foi igual, porém quando comparadas com o EDC elas foram superiores estatisticamente. Já com a presença do disco, o CeO dos EDA e EDC são iguais estatisticamente, porém diferindo do EDB, que obteve maior valor. Além disso, a interação mostra que a condição com disco nas EDA e EDC reduziu a variável significativamente, entretanto para a EDB a presença do disco aumenta significativamente, pois a presença do disco apenas aumentou a demanda de potência e manteve a mesma mobilização do solo, contribuindo para essa condição.

Tabela 20 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte para o consumo específico operacional (1 kw h m⁻²).

Elementos descompactadores	Presença de disco de corte		Médias (1 kw h m ⁻²)
	Sem disco	Com disco	
EDA	14,47 aA	7,84 bB	11,15 b
EDB	17,28 aB	23,39 aA	20,33 a
EDC	8,83 bA	7,09 bB	7,96 c
Médias (1 kw h m ⁻²)	13,53	12,77	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

4.9 Resistência específica operacional

Os dados da resistência específica operacional (ReO) foram submetidos à análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi verificado apenas interação entre os fatores elementos descompactadores e presença de disco de corte. Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentaram-se normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se que houve homogeneidade de variâncias. O coeficiente de variação foi de 21,72 %, evidenciando que o número de amostras e de repetições, para essa variável, foram suficientes.

Na tabela 21 são apresentadas as médias da resistência específica operacional (ReO) para os fatores velocidade de deslocamento, presença de disco de corte (PDC) e elementos descompactadores (EDs), bem como a interação entre EDs e PDC. Em média, a condição com disco de corte aumentou a ReO significativamente, isso pode ser atribuído ao aumento da força de tração sem alterar a área de solo mobilizado. Entretanto, nota-se que não houve diferença significativa entre o EDB e EDC nas condições com disco e sem disco, entretanto, na condição sem disco o EDB e EDA não diferiram significativamente entre si, mesma condição observada para a média geral. Além disso, observa-se que a ReO não sofre alteração com a adição do disco de corte para os EDB e EDC, mostrando que ambos têm características que os qualificam para utilização em escarificadores para o preparo do solo em sistema de semeadura direta.

Tabela 21 – Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e presença de disco de corte (PDC), para a variável resistência específica operacional (kN m^{-2}).

Elementos descompactadores	Presença de disco de corte		Médias (kN m^{-2})
	Sem disco	Com disco	
EDA	71,86 bB*	105,04 aA	88,45 b
EDB	76,98 bA	82,62 bA	79,80 b
EDC	105,09 aA	105,55 aA	105,32 a
Médias (kN m^{-2})	84,64 b	97,74 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Essa variável também conhecida como coeficiente de resistência à tração, segundo Klein (1990), fornece um parâmetro da necessidade de esforço de tração para cada EDs, em relação à área de solo mobilizado. Com esse intuito que são buscados equipamentos com valores baixos, pois isso representa um desempenho satisfatório do implemento quanto a mobilização de solo e força de tração.

Tabela 22 - Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para a variável resistência específica operacional (kN m^{-2}).

Elementos descompactadores	Velocidade de deslocamento (Km h^{-1})			Médias (kN m^{-2})
	2,98	5,80	8,89	
EDA	79,67 abA*	85,79 aA	94,88 abA	88,45 b
EDB	58,56 bB	96,36 aA	80,02 bAB	79,80 b
EDC	88,11 aB	104,94 aAB	116,84 aA	105,32 a
Médias (kN m^{-2})	75,45 b	95,70 a	97,25 a	-

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A tabela 22 ilustra o desempenho dos EDs mediante a variação da velocidade de deslocamento. Ao analisar as médias das velocidades, observa-se que a operação a 3 Km/h atingiu um valor menor que as outras duas velocidades (6 e 9 km/h), podendo assim esta velocidade caracterizar-se como a melhor condição para uma boa operação de escarificação. Isso porque o incremento da velocidade aumenta a ReO, concordando com Gassen (2011), que também observou esse comportamento. Isso podendo ser atribuído ao aumento da força de tração com o aumento da velocidade sem alterar a área de solo mobilizado.

Klein (1990), que comparou quatro elementos descompactadores (EDs) para escarificação, encontrou valores semelhantes aos EDA e EDC, porém os resultados do EDB foram sempre inferiores aos encontrados por esse autor, mesma superioridade verificada em relação ao trabalho de Rosa (2007), que ensaiou um ED parabólico em diferentes condições de compactação. Além disso, para a menor velocidade, a haste B obteve ReO inferior 32% e 28,57% aos trabalhos de Rosa (2007) e Klein (1990), respectivamente.

Raper (2002) ao estudar oito configurações de EDs comerciais com diferentes inclinações e formatos de haste e ponteiras, em caixa com solo arenoso e argiloso, constatou que os EDs com inclinação lateral apresentaram os menores valores de ReO em comparação com as retas. Ainda constatou que o comportamento dos EDs difere para cada solo estudado e nos dois os valores de ReO foram inferiores aos da haste B, na menor velocidade de deslocamento.

Os resultados e comparações acima mencionados enfatizam o potencial de utilização da EDB em implementos comerciais, pois na grande maioria dos casos ela obteve valores inferiores em relação às demais e a presença do disco de corte a frente dos EDs em diversas condições, obteve dados interessantes e passíveis de serem levados em consideração para adoção em operações de campo.

4.10 Principais resultados encontrados

Na tabela 23 são apresentadas as variáveis estudadas e qual elemento descompactador (ED) obteve o melhor desempenho para cada uma delas. Pode-se observar que o EDB alcançou um maior número de variáveis com desempenho superior em comparação aos demais EDs, sendo o maior empolamento do solo, não apresentando diferença para o EDC, menor consumo horário de combustível, força e potência média na barra de tração e, igualmente ao EDA, a menor resistência específica operacional. Isso demonstra que o projeto do EDB apresenta potencial para utilização em escarificadores. O EDC obteve o segundo melhor desempenho, não superando o EDB, pois apresentou demanda de força de tração e consumo de combustível maior, porém apresenta melhores resultados quanto às variáveis de solo.

Tabela 23 - Desempenho dos elementos descompactadores (EDs) para todas as variáveis estudadas.

EDs	Variáveis estudadas								
	Ae (cm ²)	Am (cm ²)	Emp (%)	Pat (%)	Ch (l h ⁻¹)	CeO (l kw h m ⁻²)	FMBT (kN)	PMBT (kW)	ReO (kN m ⁻²)
EDA		X							X
EDB			X		X		X	X	X
EDC	X	X	X			X			

X – A marcação representa o melhor desempenho para cada variável estudada. Ae – área de elevação do solo; Am – área de solo mobilizado; Emp – empolamento do solo; Ch – consumo horário de combustível; FMBT – força média na barra de tração; PMBT – potência média na barra de tração e ReO – resistência específica operacional.

Na tabela 24 estão apresentadas as características de trabalhos similares que estudara o desempenho de elementos descompactadores. O A representa o estudo efetuado por Gamero (2008), que avaliou um subsolador com hastes de curvatura lateral (paraplow), a 0,25m de profundidade e 2,87 Km h⁻¹. O C representa a avaliação de um escarificador feita por Seki (2010) no preparo de verão para a cultura da soja, a 0,30m e 2,67 Km h⁻¹. O D consiste no desenvolvido de um sistema de escarificação em camadas, efetuado por Gassen (2011), com duas hastes alinhadas e espaçadas em 0,40m, atuando a 0,30m e velocidade de deslocamento de 3,00 Km h⁻¹. O E consiste em uma avaliação, feita por Souza (1989), de um ED com formato curvo e ponteira alada. O F corresponde à comparação de quatro EDs que Klein (1990) efetuou, onde observou que o EDs curvo, que equipa um escarificador comercial (Pé-de-pato), obteve a menor ReO. O G consiste no estudo de Rosa (2007) sobre o desempenho de um escarificador de hastes parabólicas em sistema de semeadura direta com e sem compactação adicional. O H representa uma comparação, elaborada por Raper (2002), que equiparou diferentes EDs comerciais de distintos formatos. O I consiste em um estudo, onde Machado et al. (1996), avaliou um escarificador de hastes curvas em dois teores de água do solo e três velocidades de deslocamento. As características e condições explicitadas em cada um desses estudos representam o melhor tratamento quanto a resistência específica operacional (ReO) encontrado pelo autor.

Tabela 24 - Caracterização de diferentes estudos onde foi avaliada a resistência específica operacional de distintos elementos descompactadores (EDs).

EDs	Autor do estudo	Profundidade de operação (m)	Velocidade de deslocamento (Km h ⁻¹)	Características da haste
A*	GAMERO (2008)	0,25	2,87	Inclinada lateralmente
EDB	BELLÉ (2013)	0,25	2,98	Reta-inclinada
C	SEKI (2010)	0,30	2,67	Parabólica
D	GASSEN (2011)	0,30	3,00	Reta-inclinada
E	SOUZA (1989)	0,30	3,35	Curva
F	KLEIN (1990)	0,21	3,71	Curva
G	ROSA (2007)	0,25	-	Parabólica
H	RAPER (2002)	0,33	1,67	Curva com inclinação lateral
I	MACHADO et al. (1996)	0,20	4,80	Curva

* Os elementos descompactadores apresentados foram os que obtiveram os melhores resultados de ReO dentro de cada estudo.

A figura 16 representa a comparação da resistência específica operacional dos estudos com elementos descompactadores, citados na tabela 24. Os resultados apresentados nessa figura, representam os melhores resultados de ReO de cada um destes trabalhos, onde pode-se destacar o desempenho do EDB, que em comparação a estes estudos, obteve o segundo melhor resultado. Isso confirma a premissa de que esse elemento descompactador (EDB) possui grande potencial de utilização em implementos para descompactação de solo em sistemas conservacionistas. Entretanto, mais estudos devem ser efetuados para conhecer o desempenho do EDB em diferentes texturas de solo, teor de água do solo e condições de densidade e resistência à penetração diferentes das encontrados nesse estudo, e assim concluir com maior exatidão sobre o potencial desse elemento descompactador.

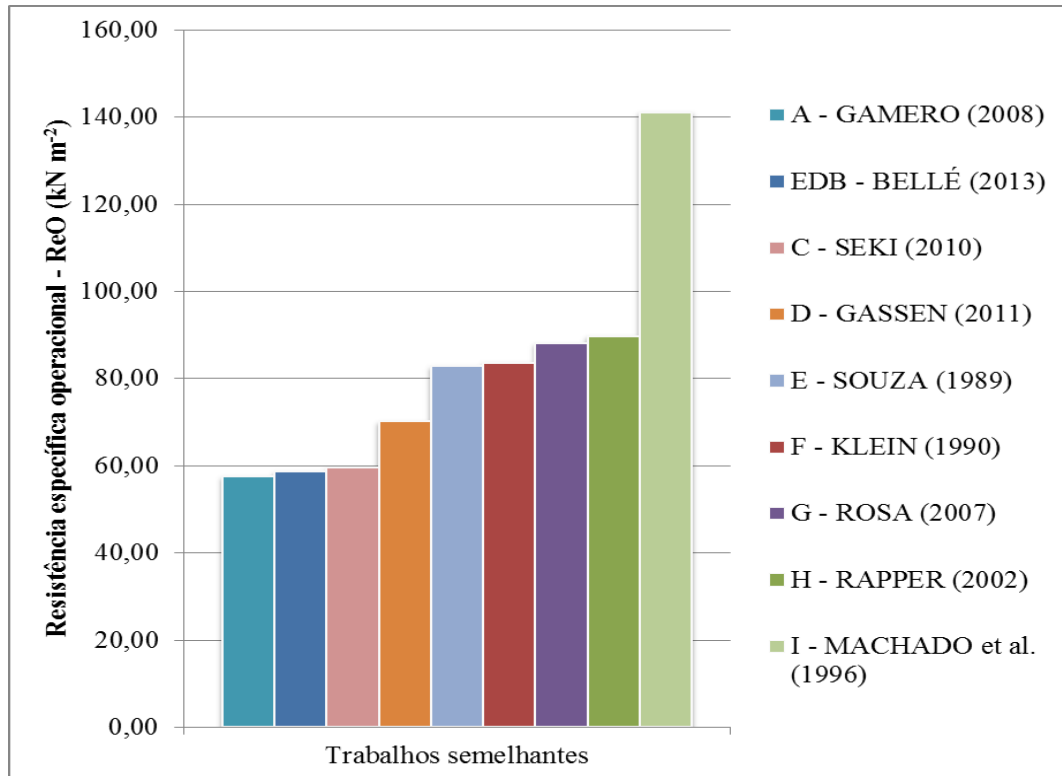


Figura 16 - Ilustração do desempenho de diferentes elementos descompactadores quanto à resistência específica operacional (kN m^{-2}).

5. CONCLUSÕES

Ao analisar comparativamente os três elementos descompactadores estudados, concluiu-se que o EDB obteve menores valores de consumo de combustível, força de tração e potência média na barra de tração. Quanto à resistência específica operacional, embora tenha alcançado o menor valor, ela não diferiu estatisticamente da haste A. Porém, quando a operação foi desenvolvida na menor velocidade ela obteve a menor resistência específica operacional em relação aos outros elementos descompactadores.

A presença do disco de corte à frente dos elementos descompactadores comportou-se diferentemente para um deles, porém em média esse fator promoveu aumento da força média na barra de tração. Analisando separadamente esse efeito, concluiu-se que para os EDA e EDC a presença do disco de corte à frente não foi positiva, entretanto para o EDB essa condição promoveu redução da força média na barra de tração e consumo horário de combustível e não alterou a resistência específica operacional.

Embora a condição com disco de corte tenha aumentado os requerimento de força de tração dos elementos descompactadores, mais estudos devem ser feito para melhor entender essa relação, pois este mecanismo de corte é fundamental nas operações de descompactação de solo em sistema de semeadura direta.

O aumento da velocidade de deslocamento implicou em aumento significativo na força média na barra de tração, consumo horário de combustível e reduziu a área de elevação do solo e o consumo específico operacional e não provocou alterações área de solo mobilizado, empolamento do solo e patinamento.

Analisando todas as variáveis pode-se concluir que o EDB apresentou-se superior aos demais elementos descompactadores estudadas e possui potencial de utilização em implementos comerciais, atendendo aos requisitos buscados em operações de preparo conservacionista de solo.

6. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Estudar a influência do diâmetro do disco de corte sobre a demanda de força de tração, quando utilizado a frente de elementos descompactadores.

Estudar a relação entre a força vertical aplicada ao disco de corte e a sua profundidade de trabalho, quando à frente de hastes de escarificadores.

Verificar qual a melhor distância do disco de corte em relação à haste, analisando a demanda de força tração do conjunto.

Realizar um estudo sobre a utilização de uma ponteira com alívio lateral no elemento descompactador experimental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE S209.5**: Agricultural tractor test code. In: ASAE standards 1989: standards engineering practices data. St. Joseph: ASAE, p. 44-48, 1989.

BARZEGAR, A. R., et al.. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. **Soil and Tillage Research**, v. 71, p. 49–57, 2003.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F.. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, jun. 2004.

BIANCHINI A., et al.. Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi)**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 395-401, 1999.

BICUDO, S.J. **Subsolador**: algumas relações entre profundidade de trabalho, largura das sapatas e número de hastes. 1990. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1990.

CAMACHO, J. H.; MAGALHÃES, P. S. G. Estudio de parámetros operacionales de discos dobles y cinceles parabólicos para prácticas culturales en áreas con residuos vegetales. **Agricultura técnica**, Chile. v. 64, p. 58-65, 2004.

CARVALHO FILHO, A., et al.. Mobilização de um latossolo vermelho acriférrico em função de sistemas de preparo do solo. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 24, n. 3, p. 1-7, July/Sept.. 2008.

CHANG, H. C.; DONALD, C. E.. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. **Trans. American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, v. 29, p. 1530-35, 1986.

CONTE, O., et al.. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 730-739, out./dez, 2008.

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

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 18, p. 33-34, 2008.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

FERNANDES, H. C., et al.. Avaliação da demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo. **Revista Ceres**, v. 54, p. 132-138, 2007.

FERNANDES, H. C., et al.. Requerimento energético de uma equipamento conjugado de preparo vertical do solo. **Revista ciências técnicas agropecuárias**, La Habana, Cuba, v. 10, nº 3, p. 55-58, 2001.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L.. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, ago., 2003.

GABRIEL FILHO, A., et al. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, set/dez., 2004.

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**. Botucatu – SP, 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

GAMERO, C. A.; SILVA, J. G. Efeitos de ordens de gradagem e de sistemas de aração na camada mobilizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 22, Ilhéus, 1993. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993, p. 1536-1553. 1 CD-ROM.

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

GASSEN, J. R. F.. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea**. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola) – Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011, 207 f.

GERMINO, R. **Atuação de forças em hastes sulcadoras de semeadoras- adubadoras para plantio direto**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004, 97 f.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 17, p. 265-289, 1990.

KLEIN, V. A. **Desenvolvimento de haste para escarificação em área sob sistema plantio direto**. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990, 79 f.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidades de deslocamento**. 1987. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Botucatu, 1987, 112 f.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes**. 1988. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1988. 171 f.

LEMOS, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., 3 ed. Campinas, SP, 1996, p. 83.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2 ed. Campinas, SBCS/SNLCS, 1984. 45p.

LEVIEN, R.; et al.. Força de tração em haste sulcadora tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha. XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – COMBEA. **Anais..** 02 a 06 de Agosto, 2004, São Pedro, São Paulo.

MACHADO, A. L. T.; et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2 ed. Pelotas, RS: Ed. Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), 2005. 253p.

MACHADO, R. L. T.; et al.. Avaliação do desempenho de escarificador em planossolo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 2, nº 3, p. 151-154, Set.-Dez., 1996.

MARQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. 1 ed., p. 93-267. Madrid. 2004.

MARTINUCCI, F. G. Escarificador no preparo do solo. **A Granja**, v. 6, p. 44-46. 1985.

MION, R.L. **Desenvolvimento de equipamento para ensaio a campo de ferramentas de rompimento do solo testado com mecanismos de abertura de sulco de semeadoras**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002, 96 f.

NICHOLS, M.L.; REED, I.F.; REAVES, C.A. Soil reaction to plowshare design. **Agricultural Engineering**, v. 39, p. 336-339, 1958.

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

_____. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 6 ed. Madrid, Mundi-Prensa, 2003. 528p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANS, J.L.. **Técnica de la mecanizacion agraria**. 3 ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1989. 641p.

PERUMPRAL, J.V.; GRISSE, A.D.; DESAI, C.S.. A soil- tool model based on limit equilibrium analysis. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, p. 991-5. 1983.

RAPER, R. L. Force Requirements and Soil Disruption of Straight and Bentleg Subsoilers for Conservation Tillage Systems. ASAE **Annual** International Meeting / CIGR XV World Congress Sponsored by ASAE and CIGR Hyatt Regency Chicago. Chicago, Illinois, USA, July, 2002.

RAPER, R. L.; BERGTOLD, J. S.; SCHWAB, E. B.. Effect of row proximity to in-row subsoiled zones on cotton productivity. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 24, p. 573-579, 2008.

RAPER, R. L.; et al.. Effect of annual, biennial, and triennial in-row subsoiling on soil compaction and cotton yield in southeastern u.s. silt loam soils. **Applied Engineering in Agriculture**. ASAE, v. 21, p. 337-343, 2005.

RAPER, R. L.; REEVES, D. W.; BURMESTER, C. H.; SCHWAB, E. B.. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy requirements. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 16, p. 379-385, 2000.

RÍPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; NAKAMURA, R.T. **Subsolagem e subsoladores**. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, Departamento Editorial, 1985. 34p.

ROSA, D. P. da. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007, 122 f.

ROSA JÚNIOR, E. J. **Efeito de sistemas de manejo da cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Roxo na região de Dourados, MS**. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000. 112 f.

ROSA D. P. da; et al.. Demanda de Esforços Requeridos por Escarificador em Argissolo Arenoso sob Semeadura Direta Compactado In: XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA (RBMCSA), 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2008. 1 CD-ROM.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. 142 f.

SANTOS, A. J. M.; et al.. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 17-30, 2010.

SCHULER R.L.; WOOD R.K.. Soil compaction. In **Conservation Tillage Systems and Management**. v. 9, p. 42-45. Ames, Iowa: MidWest Plan Service, 1992.

SILVA, P. R. A. **Semeadora-adubadora: mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas**. Botucatu. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas Botucatu, 2007. 93 f.

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

SPOOR, G.; GODWIN, R. J.. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 26, p. 477-497. 1977.

SPOOR, G.; TIJINK, F. G. J.; WEISSKOPF, P.. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. **Soil & Tillage Research**, v. 73, p. 175–182, 2003.

STAFFORD, J. V.; TANNER, D. W. **An investigation into the effect of speed on the draught requirements of a chisel tine**. In: Conference of the International soil tillage Research Organisation. 7. Swedwn. Silsoe. National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedfordshire, 1976.

STAFFORD, J. V.. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 24, p. 41-55, 1979.

STAPE, J. L.; et al.. Definição de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, cap. 7, p. 259-296. 2002.

STEWART, B. A.; LAL, R.; EL-SWAIFY, S. A.; ESWARAN, H.. **Sustaining the soil resource base of an expanding world agriculture**. Transactions. 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, v. 2 p. 296-301, 1990.

TERMINIELLO, A.; et al.. **Descompactación del suelo y tráfico de siembra. Efectos sobre los rendimientos de soja (Glycine max L. merr)**. Disponível em:<<http://agrolluvia.com/wpcontent/uploads/2011/11>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

TICE, E. M.; HENDRICK, J. G.. Disc coultter operating characteristics. **Trans. American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, v. 35, n. 1, p. 3-10, 1992.

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

YSHIMINE, P. Avaliação de algumas forças que atuam em um subsolador utilizado no preparo de solo agrícola. 1993. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1993. 94f.