

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ROBSON GONÇALVES TRENTIN

**DESEMPENHO DE SULCADORES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO**

TESE

PATO BRANCO

2015

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ROBSON GONÇALVES TRENTIN

**DESEMPENHO DE SULCADORES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO**

TESE

PATO BRANCO

2015

ROBSON GONÇALVES TRENTIN

**DESEMPENHO DE SULCADORES NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo

PATO BRANCO

2015

T795d

Trentin, Robson Gonçalves

Desempenho de sulcadores no desenvolvimento e produtividade da soja em solo submetido a diferentes níveis de compactação / Robson Gonçalves Trentin --- 2015.

97 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Acir José Modolo

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2015.

Bibliografia: f. 87 - 97

1. Qualidade de sementeira. 2. Ensaio de máquinas. 3. Plantio direto. I. Modolo, Alcir José, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: (22. Ed) 630

Ficha Catalográfica elaborada por:
Maria Juçara Silveira CRB9/1359
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese n.º 006

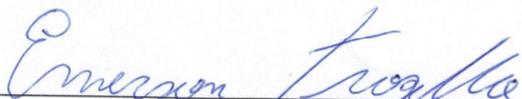
Desempenho de sulcadores na produtividade da soja sob níveis de compactação do solo

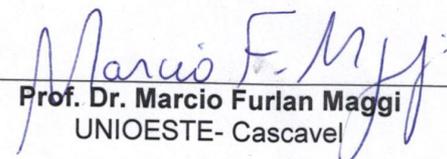
por

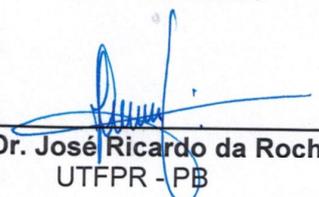
Robson Gonçalves Trentin

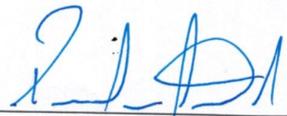
Tese apresentada às oito horas e vinte minutos do dia vinte e cinco de setembro de dois mil e quinze, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

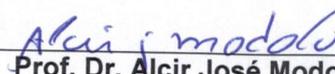
Banca examinadora:


Prof. Dr. Emerson Trogello
IFGoiano - Morrinhos

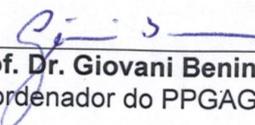

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
UNIOESTE- Cascavel


Prof. Dr. José Ricardo da Rocha
UTFPR - PB


Paulo Fernando Adami
UTFPR - DV


Prof. Dr. Alcir José Modolo
UTFPR - PB
Orientador

Visto da Coordenação:


Prof. Dr. Giovani Benin
Coordenador do PPGAG

A minha esposa, Sheila e aos meus filhos Eduardo e Carolina. Obrigado pela paciência, compreensão, encorajamento e principalmente, o amor que deram neste período importante da minha vida. Vocês foram fundamentais para o sucesso na conclusão deste curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por me guiar e iluminar nesta tarefa importante da minha vida.

A minha esposa e filhos pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus pais, Avelino e Liene, que me propiciaram uma educação firmada em bases sólidas, sempre me encorajando nos meus estudos em todas as fases da minha vida.

Aos meus sogros, Maximino e Joselina, que me apoiaram em todas as fases deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alcir José Modolo, que como orientador e amigo sempre se mostrou incansável na tarefa de ensinar, sanar todas as dúvidas e disposto a ceder seus conhecimentos e experiência no intuito de orientar e balizar o andamento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas, pelo auxílio na análise estatística dos dados, apoio e amizade.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, que transmitiram os seus conhecimentos propiciando a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas Rudi Otto Dams, Antonio Carlos Marangoni de Col, Leonardo Pasa Hoffmann, Gabrielli Fiorentin Dedordi, Andrei Daniel Zdziarski e André Luis Ferreira Baldo, pelo apoio técnico e moral recebido durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao IAPAR, principalmente ao pesquisador André Luiz Johann, pela ajuda na configuração e instalação do sistema de aquisição de dados para o ensaio de força de tração.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, pelo apoio financeiro e estrutural para a realização deste trabalho. Em especial ao Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC, por me possibilitar um horário compatível com o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPQ e Fundação Araucária pelo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa.

RESUMO

TRENTIN, Robson G. Desempenho de sulcadores no desenvolvimento e produtividade da soja em solo submetido a diferentes níveis de compactação. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

No cenário nacional, a cultura da soja ocupa posição de destaque quanto à área plantada e ao volume de produção, sendo cultivada em grande parte no sistema de plantio direto. Esse sistema, devido ao intenso tráfego de máquinas e implementos na sua superfície tem acarretado problemas de compactação do solo, que tem ocasionado a queda de rendimento das culturas. A fim de minimizar este efeito as semeadoras-adubadoras utilizam os sistemas de abertura de sulco do tipo disco duplo ou haste sulcadora. O uso da haste passou a ser corriqueira por permitir o rompimento da camada superficial compactada, porém necessita de uma maior demanda energética, podendo causar excesso de mobilização do solo nas áreas onde não se observam elevados níveis de compactação. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de mecanismos sulcadores e níveis de compactação do solo na demanda de tração solicitada por uma semeadora-adubadora, no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja, cultivada em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, no período de duas safras agrícolas. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo as parcelas principais compostas por quatro níveis de compactação do solo (N0 – Plantio Direto sem compactação adicional; N1, N2 e N3 – Plantio Direto submetido à compactação adicional, por meio de duas, quatro e seis passadas com trator, respectivamente) correspondendo as densidades do solo de 1,16, 1,20, 1,22 e 1,26 g cm⁻³, e as subparcelas por dois mecanismos sulcadores (haste sulcadora e disco duplo), com quatro repetições. Para avaliar a força de tração média, máxima e específica solicitada pela semeadora foi utilizada uma célula de carga, com capacidade de 50 kN e sensibilidade de 2 mV V⁻¹, acoplada entre o trator e a semeadora, cujos dados foram armazenados em um sistema de aquisição de dados modelo CR800 da Campbell Scientific. Foram avaliados ainda a resistência do solo à penetração, profundidade de semeadura, profundidade e largura de sulco, área de solo mobilizada, índice de velocidade de emergência, marcha de emergência, estande final de plantas, diâmetro de colmo, altura de plantas, número médio de grãos por vagem, massa de 1.000 grãos, número de vagens por planta e produtividade da cultura. Os dados foram submetidos à análise de variância, as médias dos sulcadores foram comparadas pelo teste de Tukey (p≤0,05), enquanto que para o fator compactação do solo, foi adotada a análise de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados, pelo critério de maior R² e a significância (p≤0,05) dos parâmetros da equação. Independente do ano agrícola estudado, a resistência à penetração aumentou como os níveis de compactação do solo até em torno de 0,20 m de profundidade, e a densidade do solo influenciou os parâmetros de qualidade de semeadura, porém, não afetou a produtividade da cultura. Na primeira safra, foi observado maior produtividade com o uso do sulcador tipo haste. Na segunda safra, a haste sulcadora exigiu maior demanda energética com o aumento de densidade do solo e situação inversa com o disco duplo. O travamento das linhas de

semeadura, possibilitou melhor desempenho da haste sulcadora em quebrar a camada compactada.

Palavras-chave: Qualidade de semeadura. Ensaio de máquinas. Plantio direto.

ABSTRACT

TRENTIN, Robson G. Furrowers performance on soybean growing and productivity under soil compaction levels. 97 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Graduate Program in Agronomy (Focus Area: Plant Production), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

On the national scene, soybean crop occupies a prominent position in cultivated area and volume production, being cultivated largely in the no tillage system. This system, due to the intense traffic of machines and implements on its surface has caused soil compaction problems, which has caused the yield loss of crops. In order to minimize this effect the seeder-drill uses the systems to opening the furrow by shank or the double disc type. The use of the shank has become commonplace for allowing the disruption of the compacted surface layer, however requires greater energy demand and may cause excessive tillage in areas where there is not observed high levels of compaction. Thus, this study aimed to evaluate the effects of furrowers mechanisms and levels of soil compacting on traction requirement by a seeder-drill and on the growing and productivity of soybean in an Oxisol texture clay, in a two growing seasons. The experimental design consisted of randomized blocks with split plots with the main plots composed of four levels of soil compaction (N0 – no tillage without additional compaction, N1, N2 and N3 – no tillage subjected to compaction through two, four and six passes with tractor, respectively) corresponding to densities of soil 1.16, 1.20, 1.22 and 1.26 g cm⁻³, and subplots by two furrowers mechanisms (shank and double disc) with four replicates. To evaluate the average, maximum and specific traction force requested by the seeder-drill, was used a load cell, with capacity of 50 kN and sensitivity of 2 mV V⁻¹, coupled between the tractor and seeder-drill, whose data are stored in a datalogger system model CR800 of Campbell Scientific. In addition, were evaluated the bulk density, soil mechanical resistance to penetration, sowing depth, depth and groove width, soil area mobilized, emergence speed index, emergence operation, final plant stand, stem diameter, plant height, average number of seeds per pod, weight of 1,000 seeds, number of pods per plant and crop productivity. Data were subjected to analysis of variance, the mean of furrowers were compared by Tukey test ($p \leq 0.05$), while for the factor soil compaction, polynomial regression analysis was adopted, selected models by the criterion of greater R² and significance ($p \leq 0.05$) of equation parameters. Regardless of the crop season, penetration resistance increase as soil compaction levels up to around 0.20 m deep, and bulk density influenced the sowing quality parameters, however, did not affect the crop yield. In the first season, there was a higher productivity with the use of the shank type. In the second crop season, the shank demanded greater energetic requirement with the increase of bulk density and opposite situation with the double disc. The locking of sowing lines allow better performance of the shank to break the compacted layer.

Keywords: Sowing quality. Machines trial. No tillage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. Fonte: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 2015).....	31
Figura 2 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. Fonte: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 2015).....	32
Figura 3 – Croqui do experimento com a casualização dos tratamentos. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	34
Figura 4 – Mecanismos sulcadores de adubo e grampo de travamento utilizados no experimento (a) sulcador tipo haste, (b) sulcador tipo disco duplo defasado e (c) detalhe do sistema de travamento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	36
Figura 5 – Coleta de solo com anel volumétrico para avaliação de densidade do solo. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	37
Figura 6 – Coleta de dados para avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	38
Figura 7 – Coleta de dados para avaliação da profundidade de semeadura de soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	39
Figura 8 – Vista geral do perfilômetro de madeira utilizado para avaliação da profundidade, largura de sulco e da área de solo mobilizado. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	39
Figura 9 – Célula de carga utilizada no ensaio de tração durante a semeadura da cultura da soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	43
Figura 10 – Sistema de aquisição de dados, modelo CR800, utilizado no ensaio de tração durante a semeadura da cultura da soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015...	43
Figura 11 – Vista geral da célula de carga inserida entre o trator e a semeadora-adubadora para medição da força de tração. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	44
Figura 12 – Vista geral do ensaio para calibração da célula de carga utilizada no experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	47
Figura 13 – Resistência do solo a penetração em função do número de passadas do trator na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	48
Figura 14 – Resistência do solo a penetração em função do número de passadas do trator na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	49
Figura 15 – Estimativa da profundidade de semeadura de soja (cm) em função da densidade do solo (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	52
Figura 16 – Estimativa da área de solo mobilizada (cm^2) em função da densidade do solo na safra 2014/2015. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	56
Figura 17 – Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de soja na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. .	58

Figura 18 – Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de soja em função da densidade do solo para safra 2014/2015. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	59
Figura 19 – Marcha de emergência da cultura da soja para os mecanismos sulcadores na (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	61
Figura 20 – Marcha de emergência da cultura da soja para diferentes densidades do solo na (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	61
Figura 21 – Estimativa do estande final de plantas de soja (plantas ha^{-1}) na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. ^{ns} : não-significativo. **: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	62
Figura 22– Estimativa do número médio de vagens por planta na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. ^{ns} : não-significativo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	68
Figura 23 – Estimativa da força média na barra de tração (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	75
Figura 24– Estimativa da força média na barra de tração por linha de semeadura (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	77
Figura 25 – Estimativa da força média na barra de tração por profundidade de sulco ($N\ cm^{-1}$) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	78
Figura 26 – Estimativa da força média na barra de tração por área de solo mobilizada ($N\ cm^{-2}$) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	79
Figura 27 – Estimativa da força máxima na barra de tração (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	81
Figura 28 – Estimativa da potência média na barra de tração (kW) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	82
Figura 29 – Estimativa da potência máxima na barra de tração (kW) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. .	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo na camada de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, antes da implantação do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	32
Tabela 2 - Caracterização da semeadora-adubadora utilizada no experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	35
Tabela 3 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), profundidade do sulco do adubo (PSU), largura de sulco (LSU), área de solo mobilizada (AM), índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) e estande final de plantas (EFP) nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	50
Tabela 4 – Profundidade de semeadura de soja (cm) em função dos mecanismos sulcadores nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. ...	52
Tabela 5 – Profundidade do sulco do adubo (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	54
Tabela 6 – Largura do sulco do adubo (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	55
Tabela 7 – Área de solo mobilizada (cm ²) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	57
Tabela 8 – Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) de soja em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	60
Tabela 9 – Estande final de plantas de soja (plantas ha ⁻¹) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	63
Tabela 10 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres altura final de planta (AFP), diâmetro do colmo (DC), número médio de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade da cultura (PROD) nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	64
Tabela 11 – Altura final de plantas de soja (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	65
Tabela 12 – Diâmetro de colmo de plantas de soja (mm) em função dos mecanismos sulcadores nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. ...	67
Tabela 13 – Número médio de vagens por planta em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	68
Tabela 14 – Produtividade de soja (t ha ⁻¹) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	70
Tabela 15 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres velocidade de operação do conjunto mecanizado (VEL), força média na barra de tração (FTMED), força média na barra de tração por linha de semeadura (FTLIN) e força média na barra de tração por profundidade de sulco (FTSULC) nas	

safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	72
Tabela 16 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres força média na barra de tração por área mobilizada (FTAM), força máxima na barra de tração (FTMAX), potência média na barra de tração (POMED) e potência máxima na barra de tração (POMAX) e nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	72
Tabela 17 – Velocidade de operação (km h^{-1}) do conjunto mecanizado em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	73
Tabela 18 – Força média requerida na barra de tração (N) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	74
Tabela 19 – Força média na barra de tração por linha de semeadura (N) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	76
Tabela 20 – Força média na barra de tração por área de solo mobilizada (N cm^{-2}) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.	80
Tabela 21 – Potência média na barra de tração (kW) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.....	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 revisão de literatura	20
2.1 ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA	20
2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO	21
2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA	23
2.4 SEMEADORAS-ADUBADORAS DE PLANTIO DIRETO	25
2.5 MECANISMOS SULCADORES	26
2.6 DEMANDA ENERGÉTICA SOLICITADA POR SEMEADORAS-ADUBADORAS	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	31
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	32
3.3 SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS.....	34
3.4 AVALIAÇÕES PRÉ-PLANTIO	37
3.4.1 <i>Caracterização Física do Solo</i>	37
3.4.1.1 <i>Teor de água no solo</i>	37
3.4.1.2 <i>Densidade do solo</i>	37
3.4.1.3 <i>Resistência mecânica do solo à penetração</i>	38
3.5 AVALIAÇÕES PÓS-PLANTIO.....	38
3.5.1 <i>Profundidade de Deposição de Sementes</i>	38
3.5.2 <i>Profundidade, Largura de Sulco e Área de Solo Mobilizado</i>	39
3.5.3 <i>Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas – IVE</i>	40
3.5.4 <i>Estande Final de Plantas</i>	41
3.5.5 <i>Desenvolvimento e Produtividade da cultura da Soja</i>	41
3.5.5.1 <i>Diâmetro do colmo e altura de plantas</i>	41
3.5.5.2 <i>Número médio de vagens por planta e grãos por vagem</i>	41
3.5.5.3 <i>Massa de mil grãos</i>	42
3.5.5.4 <i>Rendimento de grãos</i>	42
3.6 AVALIAÇÃO DE TRAÇÃO E POTÊNCIA REQUERIDA PELA SEMEADORA-ADUBADORA.....	43
3.6.1 <i>Força Média de Tração Requerida Pela Semeadora-Adubadora</i>	43
3.6.2 <i>Força de Tração Média por Unidade de Semeadura</i>	44
3.6.3 <i>Força de Tração Média Específica por Profundidade de Semeadura</i>	45
3.6.4 <i>Força de Tração Média Específica por Área de Solo Mobilizada</i>	45

3.6.5 Força Máxima na Barra de Tração.....	45
3.6.6 Potência Requerida na Barra de Tração.....	46
3.6.7 Potência Máxima na Barra de Tração.....	46
3.6.8 Velocidade de Deslocamento.....	46
3.6.9 Calibração da Célula de Carga.....	46
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO.....	48
4.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEMEADURA.....	50
4.2.1 Profundidade de Semeadura.....	51
4.2.2 Profundidade do Sulco para Deposição de Adubo.....	53
4.2.3 Largura do Sulco do Adubo.....	55
4.2.4 Área de Solo Mobilizada.....	56
4.2.5 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas (IVE) de Soja.....	58
4.2.6 Estande Final de Plantas.....	62
4.3 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA.....	63
4.3.1 Altura Final de Planta.....	64
4.3.2 Diâmetro do Colmo.....	66
4.3.3 Número Médio de Grãos por Vagem.....	67
4.3.4 Número de Vagens por Planta.....	67
4.3.5 Massa de Mil Grãos.....	69
4.3.6 Produtividade da Cultura.....	69
4.4 DEMANDA ENERGÉTICA NA BARRA DE TRAÇÃO.....	71
4.4.1 Velocidade de Operação do Conjunto Motomecanizado.....	73
4.4.2 Força Média na Barra de Tração.....	74
4.4.3 Força Média na Barra de Tração por Linha de Semeadura.....	76
4.4.4 Força Média na Barra de Tração por Profundidade de Sulco.....	77
4.4.5 Força Média na Barra de Tração por Área de Solo Mobilizada.....	79
4.4.6 Força Máxima na Barra de Tração.....	80
4.4.7 Potência Média na Barra de Tração.....	81
4.4.8 Potência Máxima na Barra de Tração.....	83
5 CONCLUSÕES.....	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

Importantes avanços tecnológicos que propiciaram uma expressiva evolução na exploração agrícola nacional foram observados ao longo dos últimos quarenta anos, principalmente na quantidade produzida de grande parte dos cultivos agrícolas. Dentre eles, destaca-se a cultura da soja pela sua alta capacidade produtiva, aliada a uma boa rentabilidade, sendo a principal cultura produzida no Brasil.

A partir da década de 1970 houveram expressivos incrementos de produção da cultura da soja no País (CONAB, 2015). A área cultivada passou de 5,8 para 31,9 milhões de hectares entre 1975 e 2015, representando um aumento de em torno de 450%. Para o mesmo período, o aumento de produção foi mais acentuado, passando de 9,9 milhões para 96,2 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 872%. Os avanços tecnológicos propiciaram produzir 3016 kg ha⁻¹ na safra 2014/2015, enquanto se produzia 1699 kg ha⁻¹ em 1975. Já no âmbito estadual, a SEAB (2015) estimou para a safra 2014/2015, que o sudoeste do Paraná terá uma produção de 1,9 milhões de toneladas numa área de 554 mil hectares.

O sistema plantio direto teve papel importante no estabelecimento destes níveis de produção, se tornando um dos sistemas de manejo do solo mais empregado no Brasil, sendo uma das melhores alternativas para impedir que ocorram perdas de solo e água. Neste sistema, o plantio é realizado sobre uma cobertura morta ou sobre resíduos da cultura anterior, não havendo preparo mecânico do leito de semeadura. Com isso, o número de operações de preparo do solo é reduzido havendo o revolvimento do solo apenas no sulco em que são depositados os fertilizantes e as sementes.

Tem-se observado, no entanto, que o solo cultivado sob plantio direto apresenta maior densidade, ocasionado principalmente pelo intenso tráfego de máquinas e implementos na superfície do solo e pela reduzida movimentação, já que esta ocorre apenas na linha de semeadura. Esses efeitos são mais pronunciados em solos argilosos e manejados com altos teores de umidade, tendo como consequência a queda de rendimento das culturas devido principalmente ao impedimento mecânico ao crescimento das raízes.

Desta forma, a fim de atender o sistema de produção por plantio direto, as semeadoras sofreram alterações na sua forma construtiva, tornando-as robustas, pesadas e com elementos capazes de romper as camadas compactadas de solo, exigindo para isso tratores com maior potência para movimentá-las.

Dentre as semeadoras-adubadoras que existem no mercado nacional, as mais utilizadas possuem dois tipos de sistemas de abertura de sulco: sulcador disco duplo e do tipo haste, sendo o disco duplo muito utilizado pela sua menor mobilização de solo, menor requerimento de força e menor embuchamento de palha. Os sulcadores do tipo haste apresentam como vantagem o rompimento da camada superficial compactada, podendo melhorar o desenvolvimento radicular e vegetativo das culturas e, como desvantagem a maior demanda energética na operação de semeadura (GERMINO; BENEZ, 2006).

Na região sudoeste do Paraná, por se tratar de uma região de agricultura familiar, alicerçada na produção de leite, tem-se a necessidade de que o solo seja explorado intensivamente, introduzindo animais no inverno, onde se cultiva culturas no verão, caracterizando o sistema de integração lavoura-pecuária. A exploração intensiva, aliada com operações de preparo de solo e semeadura, condições e equipamentos inadequados, torna-se um agravante no processo de compactação, levando o solo a degradação, acarretando em perda de produtividade. Como solução para resolver esse problema, grande parte dos agricultores tem adotado o uso do mecanismo tipo haste sulcadora em substituição ao sulcador tipo disco (MODOLO et al., 2013; TROGELLO et al., 2013). No entanto, o uso da haste passou a ser corriqueira, mesmo em áreas onde não se observa níveis elevados de compactação do solo, ocasionando assim problemas como excesso de mobilização do solo, favorecendo a erosão e aumento da incidência de plantas daninhas na linha de semeadura, além de aumento no consumo de combustível, elevando assim os custos de produção (REIS et al., 2006).

Ocorre a predominância de solos argilosos na região sudoeste do Paraná, nos quais os problemas de compactação se manifestam mais intensamente, e tendo a soja como principal cultura de verão, tornam-se necessários estudos que possibilitem a sustentabilidade do sistema, proporcionando ao agricultor medidas que visem diminuir os custos de produção, com equipamentos que estejam

disponíveis na propriedade, mantendo a produtividade e preservando o meio ambiente.

Assim, dentro deste contexto, este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos dos mecanismos sulcadores tipo disco duplo e haste sulcadora e níveis de compactação do solo na qualidade de semeadura, no rendimento da cultura da soja e demanda de energia na barra de tração de uma semeadora-adubadora em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, por um período de duas safras agrícolas.

Os objetivos específicos deste trabalho foram avaliar: as propriedades físicas do solo; os parâmetros de qualidade de semeadura; o desenvolvimento e componentes de rendimento da cultura; a demanda de energia na operação de semeadura para os diferentes mecanismos sulcadores e níveis de compactação do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max*) é reconhecida como uma das mais antigas plantas cultivadas pelo homem, sendo conhecida e explorada no Oriente a mais de cinco mil anos. No Ocidente começou a ser explorada comercialmente nos Estados Unidos como forrageira. No Brasil, a soja chegou via Estados Unidos em 1882, mas foi somente a partir dos anos 40 que a mesma adquiriu importância econômica até despontar como segundo produtor mundial na década de 1970 (EMBRAPA, 1987).

A soja é uma importante oleaginosa no mercado mundial devido à sua alta qualidade como fonte de proteína em dietas de humanos e animais (RAFIEE et al., 2009), além de ter uma alta capacidade produtiva com custo de produção inferior quando comparado com a colheita de outros grãos (PFEIFER et al., 2010).

Estudos preveem que a soja seja o grão com maior demanda de consumo até metade deste século. Os EUA, atual maior produtor, não possui área de expansão, limitando o seu crescimento de produção ao aumento de produtividade. Já o Brasil, tem condições de garantir a demanda pelo maior incremento em volume de produção se consolidando como o maior produtor mundial até o início da próxima década (GAZZONI, 2012). Para isso, é esperada expansão de áreas de cerrados no centro-nordeste do Brasil, na região que abrange parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, onde é previsto uma expansão de área na ordem de 16,3% na próxima década (BRASIL, 2014).

Segundo dados da SEAB (2015), a produção de soja a nível mundial na safra 2012/2013 foi 264,28 milhões de toneladas, sendo que o Brasil produziu nesta mesma safra 81,50 milhões de toneladas, representando, portanto, 30% da produção mundial.

Nacionalmente, a cultura da soja possui posição de destaque, dentre as atividades agrícolas, desempenhando um papel importante para o desenvolvimento de várias regiões brasileiras (LAZZAROTTO et al., 2011). A partir da safra 2002/2003, a região centro-oeste passou a contar com a maior área plantada do Brasil, posição ocupada até então pela região sul. Atualmente, o estado com maior

produção de soja é o Mato Grosso com 26,4 milhões de toneladas para uma área plantada de 8,6 milhões de hectares, seguido pelo Paraná, com 14,5 milhões de toneladas em 4,9 milhões de hectares, na safra de 2013/2014 (CONAB, 2015), sendo que o sudoeste do Paraná produziu nesta mesma safra em torno de 1,5 milhões de toneladas, representando 10% da produção do estado.

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO

Os sistemas de manejo do solo podem ser classificados, segundo Dallmeyer (2001), em intensivo, mínimo ou reduzido e plantio direto, sendo o primeiro conhecido como convencional, onde se faz uso de arados e grades provocando grande movimentação do solo e, os dois últimos de manejos conservacionistas. No sistema de preparo reduzido, utiliza-se de equipamentos de hastes como escarificadores e subsoladores. Já no sistema de manejo conhecido como plantio direto, assim denominado pela Federação de Associações de Plantio Direto na Palha (DALLMEYER, 2001), ocorre somente a operação de semeadura.

A área cultivada no sistema de plantio direto no Brasil, foi estimada em 31,8 milhões de hectares na safra 2011/2012, representando 60% da área plantada no país, estando desta forma, entre os principais países a adotar este sistema de manejo. No estado do Paraná, em 91% da área destinada para as culturas de verão é utilizado o sistema de plantio direto (FEBRAPDP, 2015; CONAB, 2015).

O plantio direto é definido por Araújo et al. (2001) como o sistema de manejo onde a semeadura é realizada com o mínimo de revolvimento do solo e sobre a cobertura vegetal de culturas anteriores. Para isso, o sulco deverá ser o menor possível com abertura suficiente para permitir a cobertura da semente e para que não haja contato com o fertilizante. Este sistema é considerado o mais adequado para produção agrícola em clima tropical, propiciando melhoria das condições físicas e químicas do solo. Ainda segundo estes autores, o sistema de plantio direto exige um menor uso de máquinas, mão de obra e consumo de combustível além de permitir a redução da erosão e do uso de agroquímicos, sendo possível observar a médio e longo prazo redução nos custos de produção.

O período entre 1980 e 1991 foi importante para a evolução da área plantada com o sistema de plantio direto no Brasil, já que neste período a pesquisa agrícola comprovou a eficiência deste sistema no controle da erosão hídrica, com redução das perdas de solo em mais de cinco vezes quando comparado com o plantio convencional. Foi neste período que os principais fundamentos do plantio direto foram consolidados como o revolvimento mínimo do solo, a manutenção da cobertura com palha ou plantas vivas e a rotação de culturas (CASÃO JÚNIOR, 2012).

Para consolidar a adoção do sistema de plantio direto, há necessidade de solucionar algumas situações como os problemas de compactação do solo, baixa fertilidade, presença de ervas daninhas, e aumento do consumo energético em função de uma seleção inadequada das máquinas existentes (CASÃO JÚNIOR, 2000).

As propriedades físicas do solo sofrem alterações provocadas pelo cultivo, quando comparado com as condições encontradas em campos nativos ou em solos não cultivados. Estas alterações são mais evidentes nos sistemas de manejo convencionais do que nos sistemas conservacionistas, geralmente provocando mudanças na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, prejudicando a infiltração da água e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004).

No sistema de plantio direto, no entanto, são observadas melhorias quanto à estrutura do solo chegando a influenciar a produtividade das culturas através da melhoria da disponibilidade de água, da difusão do oxigênio e da resistência à penetração das raízes. Estes efeitos ocorrem, pois, no sistema de plantio direto o solo é pouco revolvido e são adicionados resíduos na superfície, ocorrendo um aumento da matéria orgânica que associada às raízes em decomposição contribui para agregação e melhoria da estrutura do solo e maior distribuição e continuidade dos poros além do aumento da capacidade de troca de cátions (EMBRAPA, 2000; PEDROTTI; MÉLLO JÚNIOR, 2009).

Além disso, os resíduos sobre a superfície do solo dissipam a energia cinética das gotas da chuva, protegendo o solo contra a compactação e proporcionam maior infiltração e armazenamento da água no solo reduzindo as

perdas de solo e água por erosão. A palhada também tem a função de estabilizar a temperatura do solo, favorecendo os processos biológicos, manter a umidade do solo e controle de plantas daninhas pela barreira física ou pela liberação de substâncias alelopáticas (DA SILVA et al., 2009).

2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

A compactação do solo é um processo antrópico que provoca alteração na estrutura do solo reduzindo o volume de ar e aumentando a densidade aparente, fazendo com que ocorra redução na infiltração de água, aumentando assim a possibilidade de erosão (GIRARDELLO et al., 2011, LANZANOVA et al., 2007).

No processo de compactação, as partículas de solo e agregados são rearranjados onde os agregados sofrem alteração de forma e tamanho. Desta forma, tem-se uma diminuição do espaço poroso e aumento da densidade (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005), provocando alterações em parâmetros importantes como aeração, retenção de água, resistência à penetração de raízes e influenciando o crescimento radicular (EMBRAPA, 2005; KAISER et al., 2009).

O tráfego de máquinas em solos argilosos, juntamente com a maior retenção de água no solo e ao curto período de tempo com teores de umidade nas condições ideais às operações mecanizadas, provoca com frequência, compactação nas camadas superficiais (ARAÚJO et al., 2001).

No sistema de plantio direto, a compactação, geralmente limita-se as camadas superficiais do solo, e é provocada principalmente pela pressão de ar e largura inadequada dos pneus dos tratores, colhedoras e demais máquinas e equipamentos agrícolas e pelo peso excessivo por eixo (CAMARGO; ALLEONI, 2006). Já Silva et al. (2003a), comentam que as tensões provocadas pelas cargas dinâmicas dos rodados dos implementos agrícolas, podem compactar diferentes camadas do solo e, caso este carregamento exceda a resistência interna do solo, mudanças nas propriedades físicas das camadas mais profundas ocorrerão.

O baixo revolvimento do solo, restrito às linhas de semeadura, associado ao tráfego de máquinas em condições inapropriadas de umidade, contribui para o aumento da compactação do solo (BOENI, 2000). No entanto, a adição de matéria

orgânica, característica do sistema de plantio direto, influencia de maneira benéfica o comportamento físico do solo, diminuindo a densidade e aumentando a porosidade. É observado que para um mesmo nível de tráfego, a produtividade é maior em áreas com maiores teores de matéria orgânica. Desta forma, com o passar dos anos, a densidade do solo quando cultivado sob o sistema de plantio direto pode diminuir pelo acréscimo de matéria orgânica na superfície do mesmo, melhorando a sua estrutura (EMBRAPA, 2006a).

Diversos trabalhos foram realizados a fim de verificar os efeitos do estado de compactação do solo no desenvolvimento de plantas em vários tipos de solos, porém os estudos não são concluintes quanto aos valores de densidade do solo e resistência à penetração que são considerados limitantes, já que boas condições de umidade podem suprir o menor volume de solo explorado pelas raízes, quanto ao fornecimento de água e nutrientes a planta (OLIVEIRA et al., 2012).

Ao estudarem os efeitos da densidade do solo no crescimento de raízes de diversas culturas em Argissolo Vermelho, Reinert et al. (2008) observaram que o plantio direto acarreta aumento de densidade do solo e que para níveis acima de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ ocorreu restrições com deformações morfológicas das raízes. Secco et al. (2004) verificaram em Latossolo Vermelho distroférico com 42,7% de argila, que para valores de densidade do solo de até $1,51 \text{ g cm}^{-3}$ e resistência à penetração de até 2,6 MPa, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja. Bonini et al. (2008) estudando a demanda de potência de uma semeadora-adubadora em um Latossolo sob diversos níveis de compactação, verificaram que para resistência à penetração entre 2,50 e 3,00 MPa e densidade do solo de até $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ não houve influência sobre a população inicial de plantas de soja. Lima et al. (2010) estudando a produtividade das culturas soja e feijão em Argissolo Vermelho, indicam que o valor de resistência à penetração de aproximadamente 1,9 MPa é considerado crítico ao crescimento e produtividade de grãos. Ao avaliarem o efeito da compactação do solo na produtividade de quatro cultivares de soja em Latossolo Vermelho, Beutler et al. (2006) observaram que a partir dos valores de resistência do solo à penetração de 2,24 a 2,97 MPa a produtividade dos cultivares apresentaram decréscimo.

2.4 SEMEADORAS-ADUBADORAS DE PLANTIO DIRETO

A rápida expansão da fronteira agrícola, baseada no sistema convencional de manejo, associada a queimadas frequentes, provocou o surgimento de elevados índices de erosão degradando os solos e comprometendo os ganhos de produção. Diante deste fato, surgiu então a necessidade por novos sistemas de manejo com menor movimentação do solo, como o sistema de plantio direto que começou a ser implantado no Brasil no final da década de 1960 (DA SILVA, 2009; CASÃO JÚNIOR, 2012).

O sistema de plantio direto requer máquinas específicas para o manejo da cobertura vegetal e semeadura, sendo que o primeiro pode ser executado, por exemplo, pelo picador e distribuidor de palhas acoplado às colhedoras. Já as semeadoras necessitaram de modificação para se adequar a operação no sistema de plantio direto uma vez que se tem a necessidade de realizar o corte da cobertura vegetal, a penetração do sulcador para abertura do solo não mobilizado e o aterramento do sulco com solo ou palha. Assim, surgiram novos componentes de mobilização do solo como discos de corte, hastes sulcadoras, discos duplos, rodas controladoras de profundidade, discos e rodas aterradoras (ARAÚJO et al., 2001).

As pesquisas com máquinas de plantio direto no Brasil iniciaram em 1975 quando o CNPT/Embrapa testou a semeadora Allis-Chalmers do agricultor Herbert Bartz. Em 1978 foram importadas pela Embrapa a semeadora dinamarquesa Nordestern, de cultivo mínimo e a inglesa Bettison-3D, sendo que a sua concepção de projeto deu origem a muitos modelos de semeadoras de plantio direto no Brasil, e outra semeadora que deu origem a PS8, da Semeato (CASÃO JÚNIOR, 2012).

Com a adoção do sistema de plantio direto, Santos et al. (2008) garantem que a semeadora é um dos equipamentos mais importantes para o sucesso da lavoura. No entanto, Siqueira (2008) relata que em virtude de problemas quanto ao desempenho e a alta resistência à penetração dos componentes mobilizadores do solo, levam a constantes adaptações das máquinas, sendo comum problemas quanto ao corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura inadequada dos sulcos, aderência do solo aos componentes, profundidade de

semeadura desuniforme, cobertura deficiente do sulco de semeadura e contato inadequado do solo sobre as sementes.

Com a adoção do sistema de plantio direto, Silva et al. (2012) comentam que o tráfego de maquinário agrícola é reduzido em relação ao método convencional, porém também pode alterar as propriedades físicas do solo, já que os rodados dos tratores e colhedoras tem grande potencial de compactação na superfície e subsuperfície. Por um lado, este efeito, melhora o desempenho de tração dos rodados, por outro exige maior esforço para mobilizar o solo podendo gerar maior desgaste de máquinas e equipamentos. Quanto às semeadoras-adubadoras os maiores esforços de tração são provenientes dos órgãos ativos, como discos de corte de resíduos e sulcadores para abertura de sulcos de adubação e semeadura.

2.5 MECANISMOS SULCADORES

Como no sistema de plantio direto a semeadura é feita com revolvimento do solo somente na linha onde a semente é depositada, o desenvolvimento da cultura e sua produtividade vão ser influenciados, em parte, pelo ambiente do solo em torno da semente no momento da semeadura. Neste sentido, o tipo de mecanismo de abertura do sulco é o principal elemento que afeta os fatores físicos desse ambiente, como temperatura, umidade e aeração (REIS et al., 2006; BONINI et al., 2008). Os sulcadores são, portanto, elementos importantes nas semeadoras-adubadoras de precisão, uma vez que o correto desempenho do equipamento depende da correta seleção dos sulcadores a serem utilizados, já que dificilmente um determinado sulcador atenderá todas as variáveis operacionais e de solo (REIS et al., 2004).

Existem diversos tipos e combinações de sulcadores para sementes e adubos e sua seleção depende de diversos fatores como o preparo do solo, tipo, quantidade e disposição dos resíduos, teor de água e grau de compactação. No Brasil, os tipos de sulcadores mais utilizados são os de discos duplos e os do tipo haste (MODOLO et al., 2005). As hastes, também chamadas de facas ou facões, são ferramentas planas com superfícies de formatos variados, possuindo na extremidade ponteadas com a função de cortar e penetrar no solo (SIQUEIRA, 2008).

Devido suas características construtivas, a haste sulcadora tem sido utilizada nas semeadoras de plantio direto como alternativa para romper a camada superficial em áreas compactas ou suscetíveis à compactação (CEPIK et al., 2010; ARAÚJO et al., 1999). As hastes promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura em comparação com os discos duplos, podendo elevar a incidência de ervas daninhas e a possibilidade de erosão, mas por outro lado, são mais baratas e exigem menos pressão para penetração no solo. Já os sulcadores do tipo disco duplo imprimem ao solo forças laterais que tendem a formar um sulco uniforme em forma de “V” garantindo uma profundidade uniforme de semeadura e um bom contato solo-semente (REIS et al., 2006).

Ao avaliarem o desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto com diferentes mecanismos sulcadores para a deposição de adubo em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso, Santos et al. (2008) constataram que o sistema tipo haste sulcadora aumenta as exigências de força de tração, consumo de combustível (horário e específico) e o índice de patinação em comparação com o sistema de discos duplo. Levien et al. (2011) obtiveram resultado semelhante trabalhando com a semeadura direta de milho em Nitossolo Vermelho, onde constataram uma população de plantas 14% superior nos tratamentos com uso de hastes.

Entretanto, observa-se resultados contraditórios em estudos avaliando os mecanismos sulcadores tipo haste e disco. Em Latossolo Vermelho sob diferentes densidades, Modolo et al. (2013), observaram maior profundidade de semeadura e área de solo mobilizada utilizando a haste sulcadora. Estudos verificando o desempenho da haste sulcadora e disco duplo em Latossolo Vermelho sob o sistema de integração lavoura-pecuária, não observaram influência dos mecanismos sulcadores sobre o índice e velocidade de emergência de plântulas (FRANCHIN, 2011; TROGELLO et al., 2012) e estande final de plantas (ANDREOLLA, 2005), porém, foi observado maior produtividade de soja utilizando a haste (ANDREOLLA, 2005; GURGACZ, 2007).

2.6 DEMANDA ENERGÉTICA SOLICITADA POR SEMEADORAS-ADUBADORAS

A tração necessária para executar as operações agrícolas depende de variáveis do solo, como a distribuição do tamanho dos agregados, a textura, a estrutura, o teor de água no solo, a densidade do solo, a declividade, a vegetação e os restos das culturas anteriores. Além das variáveis do solo, a necessidade de tração de um implemento, também é influenciada pelas características do próprio implemento, como o tipo da ferramenta usada, a superfície de contato com o solo, a curvatura, a forma e as condições da superfície onde a força é aplicada (MODOLO et al., 2005; SILVEIRA, 2008).

A força de tração necessária para operar semeadoras-adubadoras de precisão, em semeadura direta, em solo argiloso segundo ASAE (2003), varia entre 1,8 kN \pm 25% por linha de semeadura para equipamentos operados com discos duplos a 3,0 kN \pm 25% para equipamentos com haste. É possível constatar em diversos trabalhos (CASÃO JÚNIOR et al., 2000; DEBIASI, 2008; CONTE et al., 2008) que o emprego de sulcador de adubo tipo haste exige força de tração por linha de semeadura entre 2,0 a 3,8 kN, dependendo da sua profundidade de trabalho, geometria e ângulo de ataque da haste e da ponteira com o solo e teor de água do solo.

Estudando a demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora equipada com uma haste sulcadora, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, Mentges et al. (2010) verificaram que o aumento da compactação do solo, caracterizado pela alteração da densidade do solo de 1,55 para 1,71 g cm⁻³ (até a 0,10 m de profundidade), elevou a demanda de potência em torno de 22%. Com isso a demanda média de tração passou de 5,33 para 6,35 KN, para uma profundidade teórica de trabalho de 0,2 m.

Rosa et al. (2012) conduziram trabalho em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob o sistema de plantio direto com dois níveis de intensidade de tráfego, aplicados com quatro e oito passadas com um trator agrícola sobre o mesmo rastro. Nesta situação a densidade do solo variou de 1,40 a 1,53 g cm⁻³ na camada até 0,05 m de profundidade, porém não observaram diferença significativa para a demanda de tração da semeadora-adubadora utilizada, equipada com haste sulcadora de adubo.

Palma et al. (2010) ao estudarem o efeito de quatro profundidades de trabalho das hastes sulcadoras (0,1, 0,15, 0,2 e 0,25 m) na demanda energética de um trator agrícola em solos compactados cultivados em sistema de integração lavoura-pecuária, observaram maiores valores de força de tração para as profundidades de 0,15 m, região que a ponteira da haste encontra maior resistência, e 0,25 m, apresentando 31,08 e 33,60 kN, respectivamente. O maior valor de potência necessária na barra de tração foi observado na profundidade de 0,15 m com 29,35 kW.

O requerimento de potência de uma semeadora-adubadora em quatro níveis de compactação do solo, foi estudado por Bonini et al. (2008). Para isso foram aplicados com um rolo compactador, em um Latossolo Vermelho, 0, 1, 3 e 5 passadas no mesmo rastro, que resultou em densidades do solo variando de 1,23 a 1,35 g cm⁻³ observando até 0,10 m de profundidade. Os autores utilizaram haste sulcadora para a deposição do adubo, e ao medirem a força de tração na barra, constataram que a força de tração por linha e potência na barra por linha, no plantio de soja, foi em torno de 1,9 kN e 3,2 kW, respectivamente, não observando influência dos estados de compactação.

Avaliando os parâmetros operacionais de um conjunto mecanizado para sulcadores de adubo do tipo haste e discos duplos em diferentes sentidos de plantio em Nitossolo Vermelho, Levien et al. (2011), observaram que, em comparação com sulcador de discos duplos, a haste provocou um acréscimo de 52% de mobilização do solo, 32% de força de tração média, 60% nos picos de força, 20% no consumo de combustível por área mobilizada, 14% de população de plantas por hectare além de um maior índice de patinagem. Os valores de força de tração por linha de semeadura foram 2,55 kN para haste e 1,93 KN para discos duplos. A potência média consumida na barra de tração com quatro linhas de semeadura foi de 15,83 kW utilizando haste e 12,46 kW com discos duplos.

Germino e Benez (2006), também em Nitossolo Vermelho, compararam o desempenho de dois modelos de haste sulcadora, quanto ao requerimento de força para várias profundidades de trabalho (0,12, 0,23, 0,28 e 0,33 m). A comparação foi entre um modelo comercial, com espessura de 9 mm, largura da ponteira de 28 mm, ângulo horizontal de 50°, e outro experimental, com espessura de 12 mm, largura da

ponteira de 22 mm, ângulo horizontal de 20°. Foi observado diferença significativa para os valores de força apenas na profundidade de 0,33 m, com valores de 1,1 e 1,5 kN, para a haste comercial e experimental, respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido durante duas safras agrícolas (2013/2014 e 2014/2015), na área experimental do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Pato Branco, sendo sua localização definida pelas coordenadas 26°16'36" de Latitude Sul e 52°41'20" de Longitude Oeste. O solo é caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico, (EMBRAPA, 2006b), com declividade máxima de 3%, com textura muito argilosa (77,40% de argila, 20,31% de areia e 2,29% de silte).

O clima da região é subtropical úmido do tipo (Cfa), conforme classificação de Köppen (MAACK, 1968), com altitude média de 760 m. Durante os meses que compreenderam o ciclo da cultura na safra 2013/2014, a precipitação mensal foi superior a 150 mm em fevereiro de 2014, chegando a 329 mm em março de 2014, com temperaturas médias variando entre 21 e 27 °C. Já na safra de 2014/2015 as precipitações variaram de 117 mm em outubro de 2014 a 279 em janeiro de 2015 e as temperaturas médias entre 21 e 25 °C (Figuras 1 e 2).

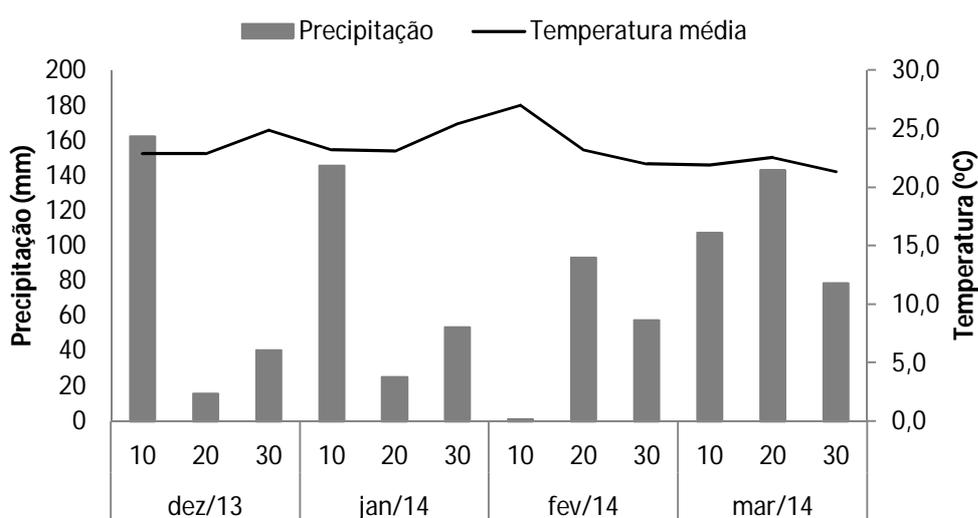


Figura 1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. Fonte: Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2015).

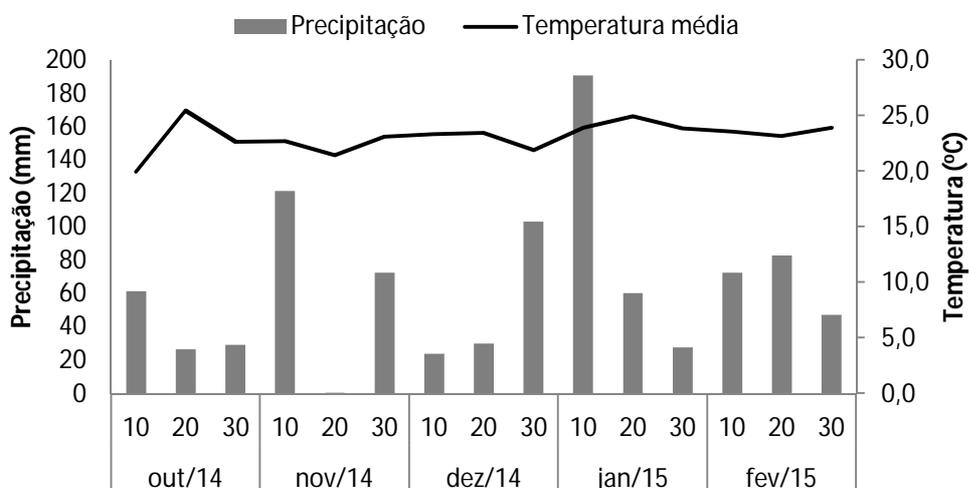


Figura 2 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 2015).

A área experimental está sendo cultivada no sistema plantio direto há mais quinze anos, com as culturas da soja (*Glycine max.*) e milho (*Zea mays*) no verão e com aveia preta (*Avena strigosa*) ou azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno.

A caracterização química do solo, na camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade realizada antes da instalação do experimento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do solo na camada de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, antes da implantação do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Prof.	pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(m)	CaCl ₂	gdm ⁻³	mgdm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
0,0-0,10	4,85	52,27	13,08	5,30	0,21	4,33	1,52	6,06	11,36	53,26
0,10-0,20	4,85	45,91	8,09	5,28	0,16	4,54	1,27	5,86	11,14	52,55

MO extraído por digestão unida; P, K, pH em CaCl₂; Extraídos em KCl ¹ mol L⁻¹ Ca, Mg e Al trocável.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram compostos pela combinação entre os mecanismos sulcadores (disco duplo defasado e haste sulcadora), de uma semeadora-adubadora de plantio direto, e quatro níveis induzidos de compactação do solo, obtidos por

meio do tráfego do trator por toda parcela, de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si. Para a determinação do número de vezes a ser trafegado com o trator, foram realizados ensaios preliminares com posterior avaliação física do solo, de forma a obter um incremento de densidade do solo entre os níveis de compactação. O número de vezes que o trator trafegou variou conforme o tratamento, sendo: Nível 0 (N0) – sem compactação adicional; Nível 1 (N1) – compactação adicional, por meio de duas passadas com trator; Nível 2 (N2) – compactação adicional, por meio de quatro passadas com trator e Nível 3 (N3) – compactação adicional, por meio de seis passadas com trator.

Para a aplicação dos níveis de compactação do solo foram utilizados um trator New Holland, modelo TL75E 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar), com lastragem máxima permitida (4.630 kg), pneus Standard dianteiros 12,4x24 e traseiros 18,4x30, e um pulverizador montado, da marca Jacto (250 kg) abastecido com 600 litros de água, totalizando uma massa de 5.480 kg. A compactação foi realizada em novembro de 2013 (safra 2013/2014), logo após período de chuvas, com a umidade do solo em torno de 38,1%. Este procedimento foi repetido em outubro de 2014 (safra 2014/2015), nas mesmas unidades experimentais, com umidade do solo de aproximadamente 37,5%. Nas duas safras foram obtidas as densidades do solo de 1,16, 1,20, 1,22 e 1,26 g cm⁻³, que corresponderam aos níveis de compactação N0, N1, N2 e N3, respectivamente.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso composto por oito tratamentos e quatro repetições, no esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas principais foram formadas pelos quatro níveis de densidade do solo e as subparcelas pelos dois mecanismos sulcadores. A área foi dividida em quatro blocos casualizados, totalizando 32 unidades experimentais (Figura 3), cada uma com área de 75 m² (3,75 x 20 m), com espaçamento entre blocos de 10,0 metros, utilizados para manobra e estabilização do conjunto motomecanizado.

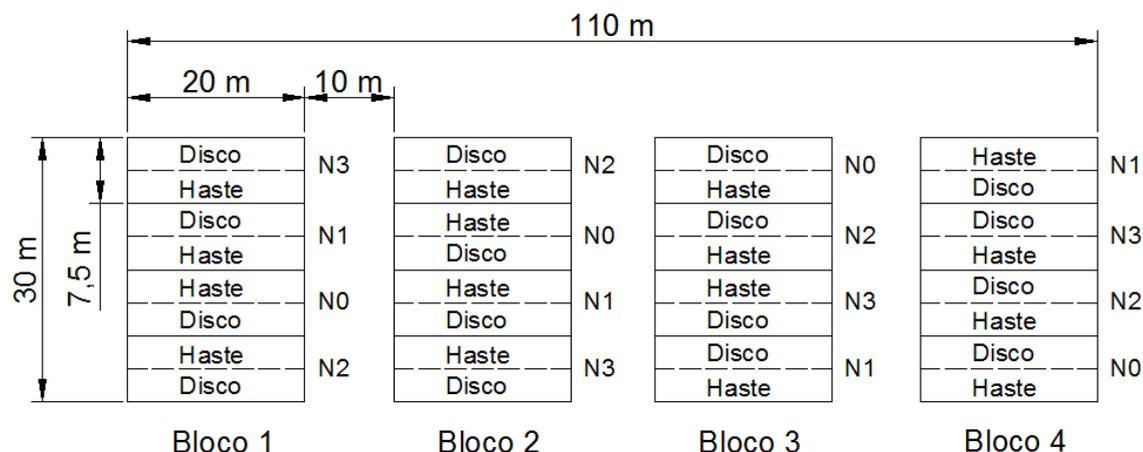


Figura 3 – Croqui do experimento com a casualização dos tratamentos. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

3.3 SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS

As semeaduras da cultura da soja foram realizadas nos dias 12/12/2013 (safra 2013/2014) e 22/10/2014 (safra 2014/2015), sob a palhada de aveia preta (*Avena strigosa*) seguindo o período de zoneamento agrícola para a região sudoeste do estado do Paraná, que vai de 11 de outubro a 31 de dezembro. Foi utilizado a cultivar Don Mario 5.8i (BMX Apolo) com uma densidade de 13,5 sementes por metro linear, visando um estande final de aproximadamente 265.000 plantas ha^{-1} .

Foi utilizado a semeadora-adubadora de plantio direto, de arrasto, com dosador de sementes do tipo mecânico, com cinco linhas de semeadura, espaçadas entre si por 0,45 m. A configuração das linhas de semeadura estão apresentadas na Tabela 2. A velocidade média durante a semeadura foi de 5,3 $km\ h^{-1}$ na safra 2013/2014 e 4,6 $km\ h^{-1}$ na safra 2014/2015. Nas duas safras a semeadora-adubadora foi tracionada na segunda marcha, com transmissão reduzida com rotação de 2.000 rpm.

Para a adubação de base foram utilizados 390 $kg\ ha^{-1}$ da formulação 02-20-18, conforme recomendação da CQFS RS/SC (2004) tomando como base os resultados da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 2 - Caracterização da semeadora-adubadora utilizada no experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Componentes	Características
Corte de cobertura (palhada)	Disco liso com 381 mm (15") de diâmetro
Sulcador de sementes	Disco duplos defasados com 356 mm (14") de diâmetro
Dosador de sementes	Disco Horizontal com 90 furos
Controle de profundidade	Rodas compactadoras e reguladoras, na parte posterior
Discos de cobertura	Duas rodas estreitas em "V"
Rodas compactadoras	Roda convexa de borracha com 330 mm (13") de diâmetro e 170 mm de largura
Posição dos sulcadores	Alinhados
Sistema de transmissão	Correntes intercambiáveis

Foram utilizados os sulcadores para deposição de adubo do tipo haste com ponteira de 17,76 mm de largura, ângulo de ataque de 20° e altura de 0,45 m (Figura 4a) e o sulcador do tipo disco duplo defasado com 381 mm (15") de diâmetro, conforme o tratamento (Figura 4b). Foi observado no primeiro ano de experimento dificuldade da haste sulcadora em obter uma profundidade de sulco uniforme, em função da atuação da mola de segurança que compõe o sistema conhecido como "pula pedra", em reação a força exercida pelo solo compactado sobre a ponteira da haste. Esta situação ocorreu provavelmente pelo desgaste apresentado pelas molas em função de anos de uso da semeadora-adubadora utilizada neste trabalho. Como a área de condução do experimento apresentava-se livre de pedras e outros obstáculos optou-se por travar as linhas de semeadura (Figura 4c), na realização do segundo ano de experimento, afim de atingir um dos objetivos do trabalho que era verificar a eficiência do mecanismo sulcador em quebrar a camada compactada.

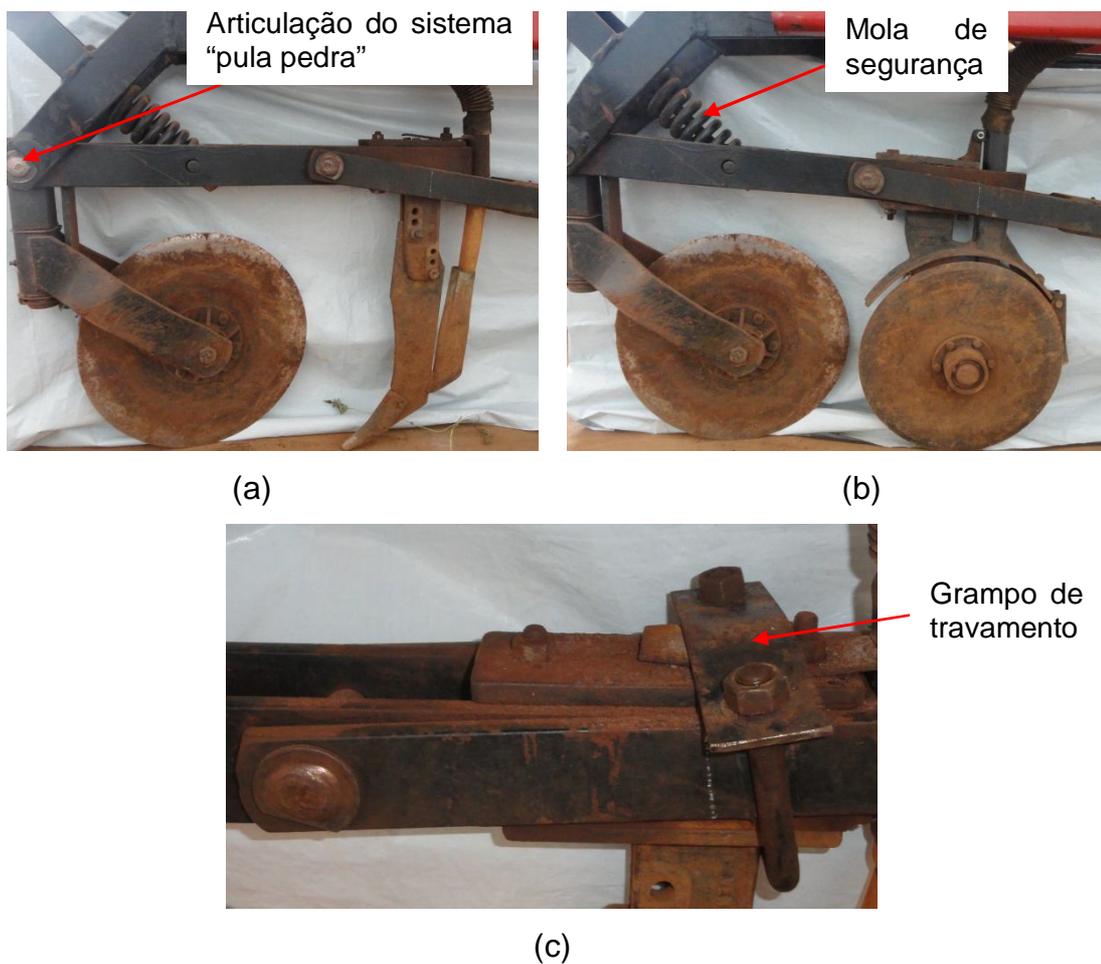


Figura 4 – Mecanismos sulcadores de adubo e grampo de travamento utilizados no experimento (a) sulcador tipo haste, (b) sulcador tipo disco duplo defasado e (c) detalhe do sistema de travamento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Para tracionar a semeadora, foi utilizado o trator New Holland, modelo TL75E, 4x2 (Tração Dianteira Auxiliar), com potência máxima de 57,4 kW (78 cv) a 2400 rpm.

Os tratos culturais foram realizados conforme a recomendação para a cultura da soja, descrito pela Embrapa (1998).

3.4 AVALIAÇÕES PRÉ-PLANTIO

3.4.1 Caracterização Física do Solo

3.4.1.1 Teor de água no solo

Foram realizadas amostragens de solo para determinação de umidade no momento da compactação do solo e da resistência do solo à penetração, na camada de 0 a 0,15 m.

O teor de água foi determinado utilizando o método gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 a 110 °C até massa constante, conforme (EMBRAPA, 1997).

3.4.1.2 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada após a aplicação dos níveis adicionais de compactação e antes da semeadura, nas duas safras avaliadas, utilizando o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Em cada parcela foram coletadas duas amostras não deformadas de solo na profundidade de 0 a 0,10 m a fim de caracterizar o nível de compactação do solo (Figura 5).



Figura 5 – Coleta de solo com anel volumétrico para avaliação de densidade do solo. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

3.4.1.3 Resistência mecânica do solo à penetração

Foi determinada utilizando um penetrômetro da marca Falker, modelo PLG1020, com ponteira (cone) de 1,0 cm² de área, sendo realizada aleatoriamente dez pontos de medição em cada unidade experimental. Foram obtidos valores de resistência à penetração para as profundidades entre 0 e 0,4 m (Figura 6).



Figura 6 – Coleta de dados para avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

3.5 AVALIAÇÕES PÓS-PLANTIO

3.5.1 Profundidade de Deposição de Sementes

Para a determinação da profundidade de deposição de sementes foram utilizadas as três linhas centrais de semeadura em cada unidade experimental, tomando como base 10 sementes em cada linha. Com o auxílio de uma espátula foi removido o solo sobre as sementes de forma a não retirá-las do seu local de deposição. Com as sementes descobertas foi determinado sua distância da borda do sulco até a posição que a mesma ocupava no solo (Figura 7).



Figura 7 – Coleta de dados para avaliação da profundidade de semeadura de soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

3.5.2 Profundidade, Largura de Sulco e Área de Solo Mobilizado

O perfil de solo mobilizado foi determinado com o auxílio de um perfilômetro construído em madeira, com réguas verticais graduadas em centímetros, dispostas a cada 2 cm no sentido transversal a linha de semeadura. Em cada unidade experimental foi determinado os perfis da superfície natural e da superfície final do solo (Figura 8), sendo a coleta realizada em duas linhas de semeadura, com duas repetições para cada linha.



Figura 8 – Vista geral do perfilômetro de madeira utilizado para avaliação da profundidade, largura de sulco e da área de solo mobilizado. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Para o cálculo da área mobilizada foi utilizado a equação 1.

$$Am = \sum(P_N - P_F) \cdot e \quad (1)$$

Em que:

A_m = Área mobilizada, cm^2 ;

P_N = perfil da superfície natural do solo para cada ponto do perfilômetro, cm;

P_F = perfil da superfície final do solo para cada ponto do perfilômetro, cm;

e = espaçamento entre réguas verticais, cm.

A largura de sulco, como também a profundidade máxima de atuação dos mecanismos sulcadores de adubo foram obtidos considerando-se a maior diferença entre os perfis da superfície original e interno do solo no sulco de semeadura (ARAÚJO et al., 1999).

3.5.3 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas – IVE

Foi determinado avaliando um comprimento de 5 m nas três linhas centrais de semeadura de cada unidade experimental. A contagem das plântulas emergidas foi realizada diariamente até que o estande de plantas estivesse constante. Foi considerado planta emergida a partir do instante em que ela rompeu o solo e pode ser vista a olho nu em qualquer ângulo. Com esta contagem foi determinado o índice de velocidade de emergência de plântulas através da equação 2, adaptada de MAGUIRE (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_N}{N_N} \quad (2)$$

Em que:

IVE = Índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_N = número de plantas emergidas, na primeira, segunda,..., última contagem;

N_1, N_2, N_N = número de dias da semeadura à primeira, segunda,..., última contagem.

3.5.4 Estande Final de Plantas

Para a determinação do estande final de plantas, foram contadas as plantas em 5 metros de cada uma das três linhas centrais de semeadura em cada unidade experimental, sendo este resultado extrapolado para o número de plantas por hectare.

A avaliação do estande final de plantas foi verificada na maturação fisiológica da cultura.

3.5.5 Desenvolvimento e Produtividade da cultura da Soja

Para realizar estas avaliações foi utilizada uma amostragem de 10 plantas por área útil em cada unidade experimental, coletadas no estádio R8 pela escala de Fehr e Caviness (1977), com exceção da avaliação de rendimentos de grãos onde foram coletadas todas as plantas em 5 metros de cada uma das três linhas centrais de semeadura.

3.5.5.1 Diâmetro do colmo e altura de plantas

O diâmetro do colmo foi medido manualmente logo acima do segundo nó como auxílio de um paquímetro digital. A altura final da planta foi medida pela distância entre o colo da planta e o ápice da haste principal.

3.5.5.2 Número médio de vagens por planta e grãos por vagem

O número médio de grãos por vagem foi obtido pela equação 3 que relaciona o número de vagens por planta e o número de grãos por planta. O número total de vagens por planta foi determinado pela contagem de todas as vagens inseridas na planta, mesmo as consideradas chochas.

$$NMGV = \frac{NGP}{NVP} \quad (3)$$

Em que:

$NMGV$ = número médio de grãos por vagem;

NGP = número de grãos por planta;

NVP = número de vagens por planta.

3.5.5.3 Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi definida com base na massa total de grãos por planta e o número de grãos por planta, fazendo uma regra de três simples conforme a equação 4.

$$MMG = \left(\frac{MGP \cdot 1000}{NTGP} \right) \quad (4)$$

Em que:

NMG = massa de mil grãos, g;

MGP = massa de grãos por planta, g;

$NTGP$ = número total de grãos por planta.

3.5.5.4 Rendimento de grãos

A colheita foi realizada manualmente e a debulha com uma trilhadora estacionária. Para o cálculo do rendimento, a umidade dos grãos foi corrigida para 13%. Através da massa total de grãos produzidos por parcela, foi calculada a produtividade em kg ha^{-1} .

3.6 AVALIAÇÃO DE TRAÇÃO E POTÊNCIA REQUERIDA PELA SEMEADORA-ADUBADORA

3.6.1 Força Média de Tração Requerida Pela Semeadora-Adubadora

Foi utilizada uma célula de carga da marca Líder Balanças (Figura 9) com capacidade de 50 kN e sensibilidade de 2 mV V^{-1} , e um sistema de aquisição de dados da *Campbell Scientific* modelo CR800 (Figura 10) para monitorar continuamente a força na barra de tração requerida pela semeadora-adubadora a uma frequência de 10 Hz (dez leituras por segundo).



Figura 9 – Célula de carga utilizada no ensaio de tração durante a semeadura da cultura da soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.



Figura 10 – Sistema de aquisição de dados, modelo CR800, utilizado no ensaio de tração durante a semeadura da cultura da soja. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

A célula de carga foi acoplada entre o trator e a semeadora (Figura 11), sendo retirado o pino que prende a barra de tração ao chassi do trator, de forma que a barra ficasse solta e toda força de tração fosse aplicada sob a célula de carga.



Figura 11 – Vista geral da célula de carga inserida entre o trator e a semeadora-adubadora para medição da força de tração. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

A força média de tração na barra foi determinada pela equação 5.

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (5)$$

Em que:

F_m = força de tração média, kN;

F_i = força de tração instantânea, kN;

n = número de dados registrados.

3.6.2 Força de Tração Média por Unidade de Semeadura

A força de tração média na barra por unidade de semeadura foi determinada pela equação 6.

$$F_L = \frac{F_m}{N_L} \quad (6)$$

Em que:

F_L = força de tração por unidade de semeadura, kN linha⁻¹;

N_L = número de unidade da semeadora.

3.6.3 Força de Tração Média Específica por Profundidade de Sulco

A força de tração específica na barra por profundidade de sulco foi determinada pela equação 7.

$$F_{PS} = \frac{F_m}{P_S} \quad (7)$$

Em que:

F_{PS} = força de tração na barra por profundidade de sulco, kN cm^{-1} ;

P_S = profundidade do sulco, cm.

3.6.4 Força de Tração Média Específica por Área de Solo Mobilizada

A força de tração específica na barra por área de solo mobilizada (cm^2) foi determinada pela equação 8.

$$F_{Am} = \frac{F_m}{Am} \quad (8)$$

Em que:

F_{Am} = força de tração na barra por área de solo mobilizada, kN cm^{-2} .

3.6.5 Força Máxima na Barra de Tração

A força de máxima de tração correspondeu ao maior valor de força de tração armazenado pelo sistema de aquisição de dados durante o deslocamento do conjunto motomecanizado em cada parcela experimental, sendo expresso em kN.

3.6.6 Potência Requerida na Barra de Tração

Para a determinação da potência média requerida na barra de tração foi utilizado a equação 9.

$$P_m = F_m \cdot V_m \quad (9)$$

onde:

P_m = potência média na barra de tração, kW;

F_m = força de tração média, na barra de tração, kN;

V_m = velocidade média de deslocamento, m s⁻¹.

3.6.7 Potência Máxima na Barra de Tração

A potência máxima requerida na barra de tração foi determinada pelo produto entre a força máxima na barra de tração e a velocidade média de deslocamento, expressa em kW.

3.6.8 Velocidade de Deslocamento

A velocidade média de deslocamento do conjunto motomecanizado, foi determinada através do uso de um cronômetro digital a fim de monitorar o tempo gasto para percorrer a parcela de 20 m de comprimento.

3.6.9 Calibração da Célula de Carga

Para correlacionar a leitura dos dados fornecidos pela célula de carga em mV com o correspondente valor de força, foi realizada a calibração de célula de carga, utilizando uma célula de carga de referência com certificado de calibração. As células foram montadas numa máquina de ensaio de tração (Figura 12) até a carga

aproximada de 45 kN. Com este procedimento obteve-se a constante de calibração, para esta célula de carga, de 24,6 kN mV⁻¹.



Figura 12 – Vista geral do ensaio para calibração da célula de carga utilizada no experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância e havendo diferenças significativas ($p \leq 0,05$), as médias dos sulcadores foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), enquanto que para o fator compactação do solo, representada pela variável densidade do solo, foi adotada a análise de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados, pelo critério o maior R^2 e a significância ($p \leq 0,05$) dos parâmetros da equação. Todos os dados foram submetidos ao teste de Cochran ($p \leq 0,05$) para verificar a homogeneidade das variâncias. Para as variáveis não homogêneas verificou-se a normalidade dos dados pelo teste de Lilliefors ($p \leq 0,05$), sendo então, aplicado a transformação de dados em raiz quadrada das variáveis que não atenderam os pressupostos de homogeneidade e normalidade. Para a análise dos dados foi utilizado o software SAEG 9.1 (UFV, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Os maiores valores de resistência à penetração foram observados no tratamento com maior número de passadas, até em torno de 0,20 m de profundidade, seguido dos tratamentos com quatro e duas passadas, respectivamente. Entre as profundidades de 0,20 e 0,40 m os valores de resistência à penetração não foram influenciados pelos níveis de densidades testados, indicando que o tráfego imposto pelo trator aumentou a resistência à penetração somente até a profundidade de 0,20 m (Figuras 13 e 14). Este comportamento, com valores maiores de resistência à penetração nas camadas superficiais, é característica de solos sob plantio direto, onde o efeito acumulativo das tensões geradas pelo tráfego de máquinas e implementos são dissipadas nas camadas superficiais (SECCO et al., 2004, BEUTLER et al., 2006; BONINI et al., 2008).

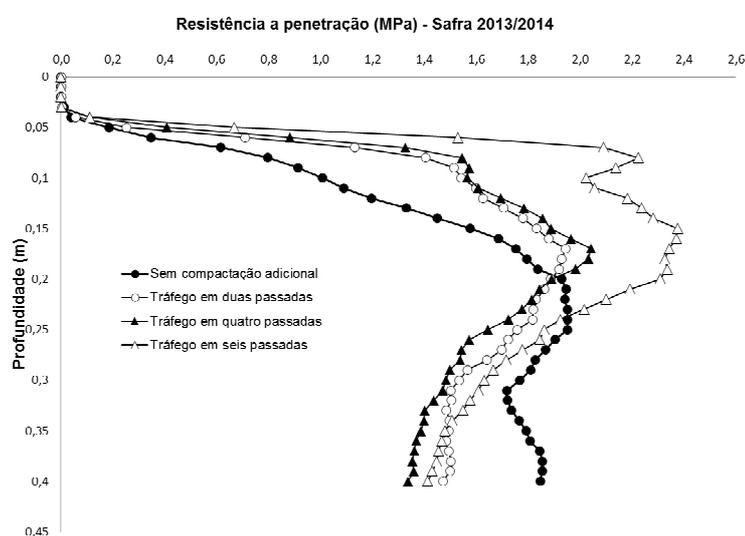


Figura 13 – Resistência do solo a penetração em função do número de passadas do trator na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

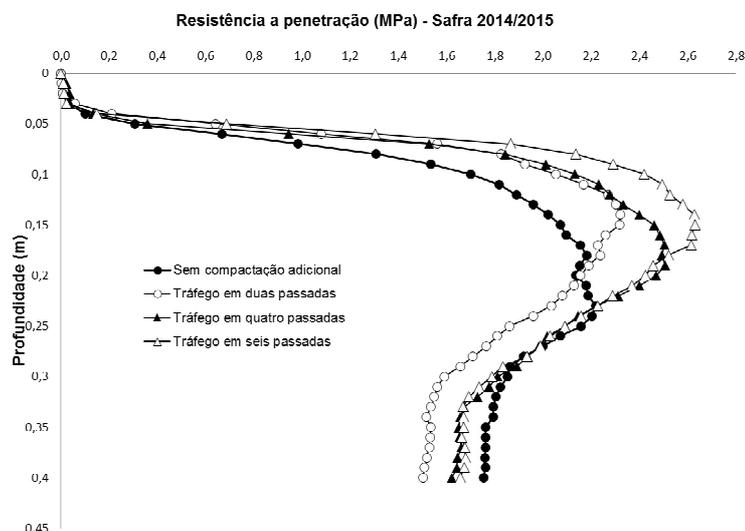


Figura 14 – Resistência do solo a penetração em função do número de passadas do trator na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Na safra 2013/2014 os valores de resistência à penetração chegaram a 2,4 MPa, quando o solo apresentava 37,7% de umidade, já na safra 2014/2015 chegou a 2,6 MPa com 36,7% de umidade do solo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bonini et al. (2008) em Latossolo Vermelho sob quatro níveis de compactação do solo com densidades variando de 1,23 a 1,35 g cm⁻³ (até 0,10 m de profundidade) e Freddi et al. (2009), também em Latossolo Vermelho sob seis níveis de compactação do solo com densidades variando de 1,34 a 1,53 g cm⁻³ (até 0,10 m de profundidade), que observaram valores de resistência do solo à penetração na camada de 0,10 a 0,20 m de 2,50 MPa e 2,21 MPa, respectivamente.

O ensaio de resistência do solo à penetração é muito utilizado para avaliação do estado de compactação do solo, pela sua praticidade, rapidez e por apresentarem relação direta com o crescimento das plantas, apesar de seus resultados serem influenciados pela umidade do solo no momento de sua avaliação. Diversos trabalhos determinam os valores críticos de resistência à penetração com resultados variando entre 1,5 a 4,0 MPa, os quais são influenciados pelo tipo de solo e espécie vegetal, porém, tem-se considerado o valor de 2,0 MPa como impeditivo ao crescimento radicular (TORMENA et al., 1998; VALICHESKI et al., 2012). No presente estudo, observa-se nos resultados do primeiro ano de experimento que somente o tráfego com seis passadas apresentou valores de resistência à

penetração maiores que 2,0 MPa, diferente dos resultados obtidos na safra 2014/2015, onde apenas as áreas sem compactação adicional apresentaram resultados abaixo deste valor, na camada até 0,2 m de profundidade, influenciados, provavelmente, pelo menor teor de umidade apresentado no momento do ensaio, e pelo efeito acumulativo dos níveis de compactação impostos em dois anos consecutivos, embora serem observados os mesmos valores de densidade do solo nos dois anos de experimento.

4.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEMEADURA

No primeiro ano de experimento a densidade do solo e os mecanismos sulcadores influenciaram significativamente apenas profundidade de semeadura. Observa-se também interação significativa entre os tratamentos, para o IVE e estande final de plantas. Já na segunda safra a densidade do solo influenciou significativamente a profundidade de semeadura, largura de sulco, área de solo mobilizada e IVE. Houve influência dos mecanismos sulcadores em todos os fatores de qualidade de semeadura avaliados, porém não se observou interação significativa entre os fatores (Tabela 3).

Tabela 3 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), profundidade do sulco do adubo (PSU), largura de sulco (LSU), área de solo mobilizada (AM), índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) e estande final de plantas (EFP) nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

FV	GL	Safr 2013/2014					
		PS	PSU	LSU	AM	IVE	EFP
Bloco	3	0,41	0,98	2,20	231,27	2,76	317,22
Densidade solo (D)	3	1,33*	1,21	8,95	448,02	42,30	701,67
Erro (a)	9	0,27	0,85	5,20	195,91	5,45	165,41
Sulcador (S)	1	1,03**	0,29	0,78	18,15	0,21	385,80
DxS	3	0,02	1,00	3,28	179,45	5,55*	720,14**
Erro (b)	12	0,07	0,78	4,16	123,86	1,43	78,72
C.V. (D) (%)		11,47	15,57	13,34	27,35	11,31	5,42
C.V. (S) (%)		5,74	14,91	11,93	21,75	5,78	3,74

		Safrá 2014/2015					
Bloco	3	0,19	0,23	0,19	0,38	2,40	366,18
Densidade solo (D)	3	3,00**	1,28	2,15*	1,01*	11,01*	605,17
Erro (a)	9	0,29	0,44	0,43	0,26	2,60	251,97
Sulcador (S)	1	10,25**	115,08**	16,53**	47,46**	194,82**	14139,24**
DxS	3	0,07	0,74	1,26	0,60	1,23	48,40
Erro (b)	12	0,11	0,25	0,64	0,27	2,06	317,72
C.V. (D) (%)		11,43	9,88	5,44	7,58	7,22	7,01
C.V. (S) (%)		7,11	7,41	6,64	7,64	6,42	7,87

*: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.2.1 Profundidade de Semeadura

Os resultados da análise de regressão para as safras 2013/2014 e 2014/2015, apresentados na Figura 15, indicam correlação linear entre a profundidade de semeadura e densidade do solo, com decréscimo na ordem de 0,098 cm (safra 2013/2014) e 0,139 cm (safra 2014/2015) para cada aumento de uma unidade centesimal na densidade do solo. Os coeficientes de determinação verificados na regressão linear foram 0,99 (safra 2013/2014) e 0,83 (safra 2014/2015), indicando que o aumento da densidade foi responsável por 99% e 83% da variação da profundidade de semeadura no primeiro e segundo ano de experimento, respectivamente.

Os valores médios de profundidade de semeadura ficaram entre 4,0 e 5,0 cm no primeiro ano de experimento e 4,0 e 5,4 cm no segundo ano, sendo de maneira geral valores adequados para a cultura da soja, tomando como base a recomendação proposta pela Embrapa (1998), que sugere as profundidades entre 3,0 e 5,0 cm.

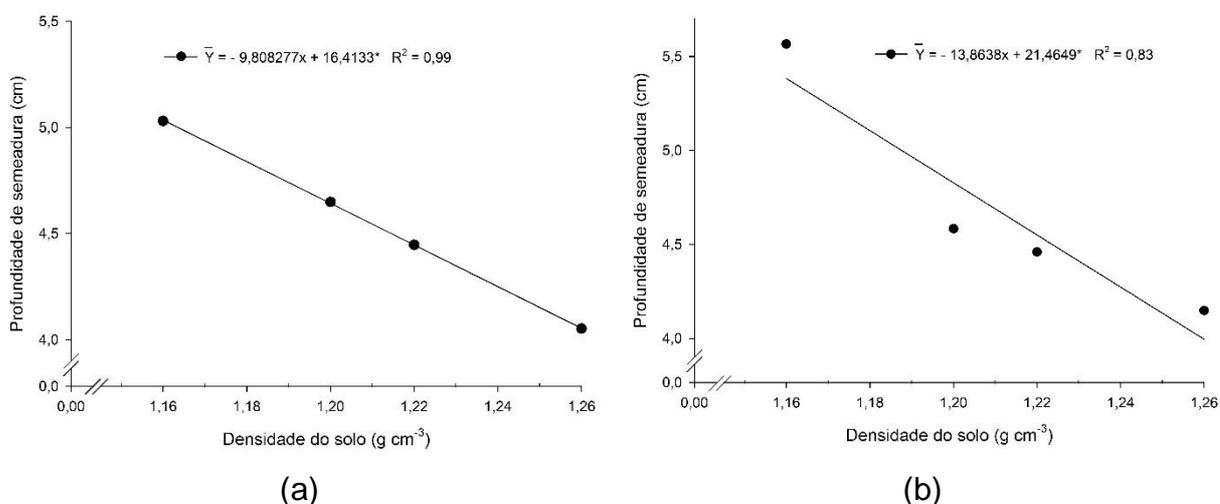


Figura 15 – Estimativa da profundidade de semeadura de soja (cm) em função da densidade do solo (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Com relação aos mecanismos sulcadores observa-se na Tabela 4 que o mecanismo tipo disco duplo apresentou maiores valores médios de profundidade de semeadura que o sulcador tipo haste na safra 2013/2014 e situação inversa na safra seguinte.

Tabela 4 – Profundidade de semeadura de soja (cm) em função dos mecanismos sulcadores nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Profundidade de semeadura (cm)	
	Safra 2013/2014	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)		
Disco	4,72 a	4,12 b
Haste	4,37 b	5,26 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey.

Os dispositivos abridores de sulco são acoplados ao chassi da semeadora por meio de suportes individuais que por sua vez são constituídos por um conjunto de barras articuladas e molas que, dentre outras funções, permitem o deslocamento da haste para trás quando esta encontrar um obstáculo que ofereça resistência maior que a força disponível na mola de segurança, evitando desta maneira danos ao sulcador. Este sistema é comumente conhecido como “pula pedra” (MIALHE, 2012).

Conforme comentado na seção 3.3, as molas de segurança da semeadora-adubadora utilizada no presente trabalho, com vários anos de utilização, apresentavam-se desgastadas, com isso a utilização deste equipamento no solo compactado pode explicar a menor profundidade de semeadura da haste sulcadora, em comparação com o disco duplo na safra 2013/2014. Na safra seguinte este comportamento não se repetiu, pois, travou-se a linha de semeadura (Figura 4c) para impedir o deslocamento da mola de segurança

Estudando mecanismos sulcadores de solo na semeadura da soja, Schlosser et al. (1999) verificaram que as hastes sulcadoras provocaram profundidade de semeadura maior do que os mecanismos sulcadores tipo disco duplo defasado, já que estes últimos se deslocam rodando sobre o solo, rompendo-o por compressão e imprimindo uma forma de “V” ao sulco, ao passo que a haste penetra por sucção deslizando sob o solo. Trabalhando em um Latossolo Vermelho compactado pelo sistema de integração lavoura-pecuária, com densidades entre 1,28 e 1,39 g cm⁻³, Modolo et al. (2013) obtiveram resultados semelhantes, onde foi observado maior profundidade de semeadura utilizando a haste sulcadora.

Já Reis et al. (2004) e Camilo et al. (2004), obtiveram resultados opostos observando menor profundidade de semeadura utilizando haste sulcadora. Este resultado é justificado por alguns autores pela maior estabilidade das paredes do sulco de semeadura propiciado pelo disco duplo.

4.2.2 Profundidade do Sulco para Deposição de Adubo

Verificou-se no primeiro ano de experimento que a profundidade do sulco não foi influenciada pela densidade do solo e mecanismo sulcador, sendo a profundidade média de trabalho de 5,9 cm. Já no segundo ano de experimento houve diferença significativa com relação ao mecanismo sulcador utilizado, mas sem apresentar influência da densidade do solo na profundidade de sulco. A haste sulcadora gerou uma profundidade de sulco 79% maior que o disco duplo (Tabela 5). Esta diferença de comportamento entre os dois anos de experimento ocorreu devido o travamento das linhas de semeadura, que permitiu o maior aprofundamento

da haste sulcadora por impedir a atuação da mola de segurança e, por conseguinte o deslocamento da haste para trás, ao trabalhar com o solo compactado.

Este resultado comprova a maior capacidade da haste sulcadora em romper a camada compactada, e com isso posicionar o adubo abaixo da semente, já que a profundidade de sulco utilizando o disco ficou muito próxima da profundidade de semeadura, sendo um resultado importante uma vez que o contato direto entre a semente e o fertilizante prejudica a absorção da água pela semente e o desenvolvimento das plântulas (BEVILAQUA et al., 1996; EMBRAPA, 2004).

Tabela 5 – Profundidade do sulco do adubo (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Profundidade do sulco de adubo (cm)
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	4,79 b
Haste	8,58 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Em Latossolo Vermelho, compactado pelo pastejo animal em área de integração lavoura-pecuária, Andreolla e Gabriel Filho (2006) observaram profundidade de atuação em torno de 12 cm para a haste sulcadora e 5 cm para disco duplo, porém não constataram diferença significativa, com relação aos diferentes estados de compactação, que resultaram densidades do solo entre 1,21 e 1,31 g cm⁻³.

Avaliando a semeadura da soja em sistemas de rotação de culturas e integração lavoura-pecuária, Gurgacz (2007) observou maior profundidade de sulco de adubo utilizando a haste sulcadora, onde obteve profundidade média de 8,62 cm, em comparação com o disco duplo, com profundidade média de 7,73 cm.

4.2.3 Largura do Sulco do Adubo

Na safra 2013/2014 a largura do sulco não foi afetada pelos mecanismos sulcadores e densidade do solo, com valor médio observado de 17,09 cm. Já no experimento realizado na safra 2014/2015 foi constatado a influência da densidade do solo e mecanismos sulcadores na largura do sulco. Para avaliar o efeito significativo da densidade do solo foi realizado o teste de regressão (teste t) a 5% de probabilidade, cuja análise indicou que a largura de sulco independe da densidade de solo, sendo observado uma média geral de 12,06 cm. No entanto, houve efeito dos mecanismos sulcadores onde a largura de sulco utilizando a haste sulcadora foi em torno de 13% maior que a largura de sulco produzida com o disco duplo (Tabela 6).

Tabela 6 – Largura do sulco do adubo (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Largura do sulco do adubo (cm)
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	11,34 b
Haste	12,78 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Este resultado também condiz com a maior capacidade da haste em desestruturar o solo provocando maior largura de sulco. Este efeito é constatado por diversos autores ao observarem maior valor de área mobilizada e profundidade do sulco ao utilizarem haste sulcadora em comparação com disco duplo (ANDREOLLA e GABRIEL FILHO, 2006; LEVIEN et al., 2011; MODOLO et al., 2013). No entanto, é desejável que os elementos sulcadores proporcionem menor largura de sulco, a fim de evitar a incidência de possíveis invasoras, e a sua competição com a cultura desejada, além da possibilidade de ocorrência de erosão (BERTOL et al., 1997; SCHLOSSER et al., 1999; REIS et al., 2006).

4.2.4 Área de Solo Mobilizada

Não foi constatado diferença significativa para densidade do solo e mecanismos sulcadores no experimento realizado na safra 2013/2014, cujo valor médio observado foi de 51,18 cm². Esta situação, também observada nos parâmetros profundidade e largura de sulco, pode estar relacionada com a atuação do mecanismo “pula pedra”, que gerou maior dificuldade de penetração da haste sulcadora no solo, não apresentando, com isso, diferença significativa, entre a haste sulcadora e o disco duplo para os parâmetros citados.

No entanto, é possível observar na Figura 16 que na safra 2014/2015 a área de solo mobilizada possui correlação linear com a densidade do solo, com coeficiente de determinação de 0,77, e que para cada unidade centesimal de aumento da densidade do solo, ocorre um decréscimo de em torno 0,925 cm² na área de solo mobilizada, com valores de 52,31 e 43,06 cm² para as densidades de 1,16 e 1,26 g cm⁻³, respectivamente.

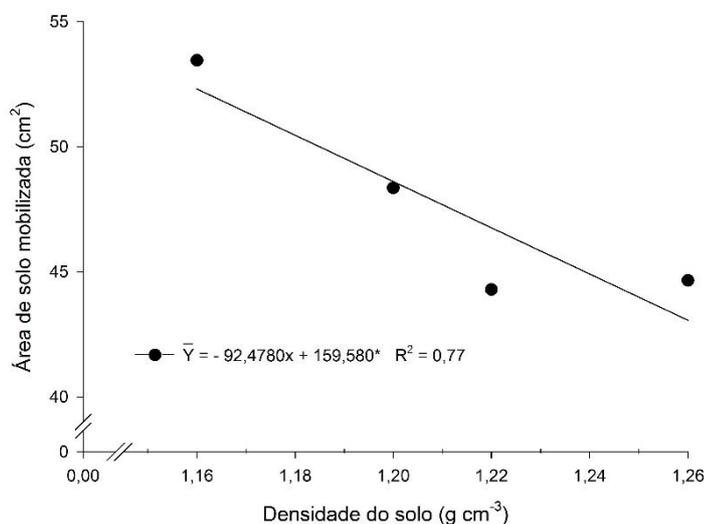


Figura 16 – Estimativa da área de solo mobilizada (cm²) em função da densidade do solo na safra 2014/2015. *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

No segundo ano de experimento a haste sulcadora mobilizou pelo menos o dobro da área de solo em comparação o disco duplo (Tabela 7), resultado justificado pela maior largura e profundidade de sulco obtidos com a haste, sendo, portanto, uma alternativa eficiente para romper camadas superficiais compactadas, desde que as molas que compõem o sistema “pula pedra” estejam bem posicionadas e

reguladas. É ressaltado por Schlosser et al. (1999) e Siqueira (2008), que a haste sulcadora pelo seu mecanismo de atuação, possui maior capacidade de penetração e promovem maior distúrbio na linha de semeadura gerando mobilização mais intensa de solo em comparação aos discos duplos.

Tabela 7 – Área de solo mobilizada (cm²) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Área de solo mobilizada (cm ²)
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	31,26 b
Haste	64,12 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Avaliando os esforços em vários mecanismos sulcadores de uma semeadora para plantio direto, Mion et al. (2009), não observaram diferença para área mobilizada entre a haste sulcadora e disco duplo, ao trabalharem em um Latossolo Vermelho com densidade média de 1,42 g cm⁻³ na camada até 0,15 m. Trogello et al. (2013) também não obtiveram diferença significativa na área de solo mobilizada entre os mesmo mecanismos sulcadores, ao estudarem velocidade de operação e manejos de cobertura, no mesmo solo e utilizando a mesma semeadora considerados no presente trabalho.

Já Modolo et al. (2013) estudando a atuação de mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo, obtiveram maior área de solo mobilizada utilizando a haste sulcadora, quando comparado com o disco duplo, porém não observaram influência das intensidades de pastejo sobre a área de solo mobilizada. Mion e Benez (2008) avaliando os esforços sobre diversas ferramentas sulcadoras e Grego (2002) avaliando sistemas de manejo do solo e de cobertura vegetal, ambos em Nitossolo Vermelho, também verificaram maior área de solo mobilizada utilizando a haste sulcadora.

4.2.5 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas (IVE) de Soja

Na safra 2013/2014 observou-se comportamento linear entre o IVE e a densidade do solo para ambos mecanismos sulcadores (Figura 17), com coeficientes de determinação de 0,97 e 0,91 para disco duplo e haste sulcadora, respectivamente. Para cada unidade centesimal de acréscimo de densidade do solo, houve incremento de 0,74 (disco duplo) e 0,34 (haste sulcadora) unidades do parâmetro avaliado.

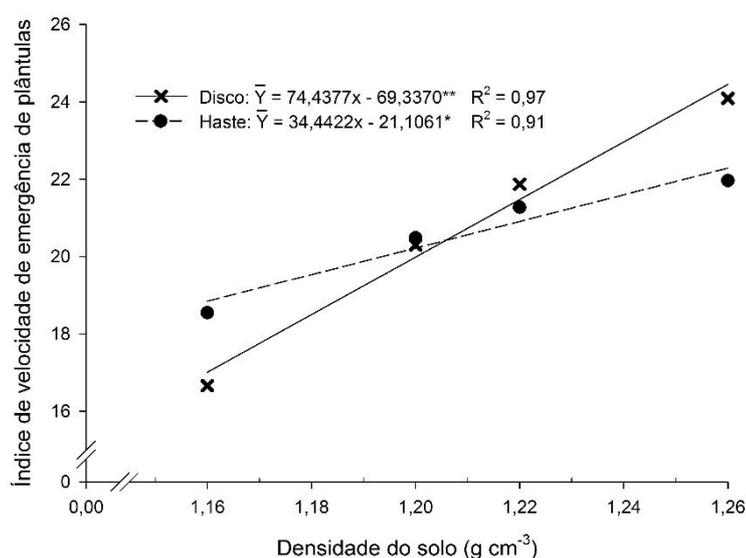


Figura 17 – Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de soja na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Para a o experimento realizado na safra 2014/2015, observou-se que os valores de IVE apresentaram diferença significativa para a densidade do solo e mecanismos sulcadores, sem observar, no entanto, interação entre os fatores. Na Figura 18 nota-se que o modelo ajustado apresenta comportamento linear entre o IVE e a densidade do solo, com coeficiente de determinação de 0,90 e incremento de 0,27 unidades do IVE com o aumento de uma unidade centesimal de densidade.

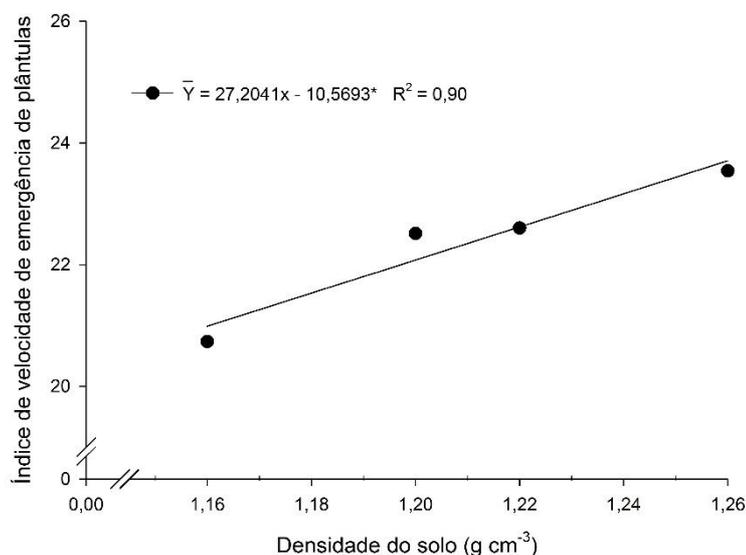


Figura 18 – Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de soja em função da densidade do solo para safra 2014/2015. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

A germinação das sementes é condicionada por fatores como temperatura, teor de água, tipo de solo e profundidade de semeadura, sendo este considerado como fator fundamental para o estabelecimento da cultura, uma vez que a semente deve ser depositada a uma profundidade que garanta um bom contato com o solo úmido, propiciando uma boa germinação, mas não tão profunda a ponto de impedir uma boa emergência (SILVA et al., 2008; KOAKOSKI et al., 2007).

Conforme apresentado na Figura 15, o aumento da densidade do solo provocou a redução da profundidade de semeadura, desta forma as plântulas levaram menos tempo para emergir nas regiões mais compactadas, justificando assim, o aumento do IVE com o incremento de densidade do solo, ocorrido nos dois anos de experimento.

Na Tabela 8, são apresentados os valores médios do IVE, na safra 2014/2015, em função dos mecanismos sulcadores. É possível observar que o uso da haste proporcionou maior velocidade na emergência das plantas, em torno de 25% superior ao disco, mesmo a haste tendo apresentado profundidade de semeadura 28% maior, na comparação com o disco duplo (Tabela 4). Observando os dados de precipitação (Figura 2) constatou-se o período de 8 dias sem chuvas significativas após a semeadura realizada em outubro de 2014, desta forma as sementes depositadas em camadas mais profundas, utilizando a haste sulcadora, tiveram melhores condições de atingir a umidade suficiente para germinarem e

iniciarem o crescimento radicular, já que o teor de água no solo é uma das condições fundamentais para a emergência das sementes, conforme comentado por Koakoski et al. (2007).

Tabela 8 – Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) de soja em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	IVE
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	19,88 b
Haste	24,82 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Estudos verificando a eficiência de mecanismos sulcadores em semeadoras-adubadoras sob integração lavoura-pecuária em Latossolo Vermelho de textura argilosa mostraram que tanto o sistema de pastejo quanto os mecanismos sulcadores não influenciaram o IVE (ANDREOLLA, 2005; FRANCHIN, 2011; TROGELLO et al., 2012).

Estudando o desempenho de uma semeadora-adubadora, com os mecanismos sulcadores de solo do tipo disco duplo e haste sulcadora, em Latossolo Vermelho de textura muito argilosa sob vários teores de umidade, Koakoski et al. (2007) não observaram diferença do IVE para os mecanismos sulcadores testados.

A emergência apresentou elevação a partir do quinto dia após a semeadura e estabilizando ao décimo terceiro dia. Para o primeiro ano de experimento não se observou influência dos sistemas de sulcamento. Já no experimento realizado na safra 2014/2015 é observado maior velocidade de emergência utilizando a haste sulcadora, possivelmente provocado pela deposição das sementes em maior profundidade, proporcionada por este mecanismo, dando-as melhores condição de para emergência das plântulas, resultando com isso num maior estande de plantas (Figura 19).

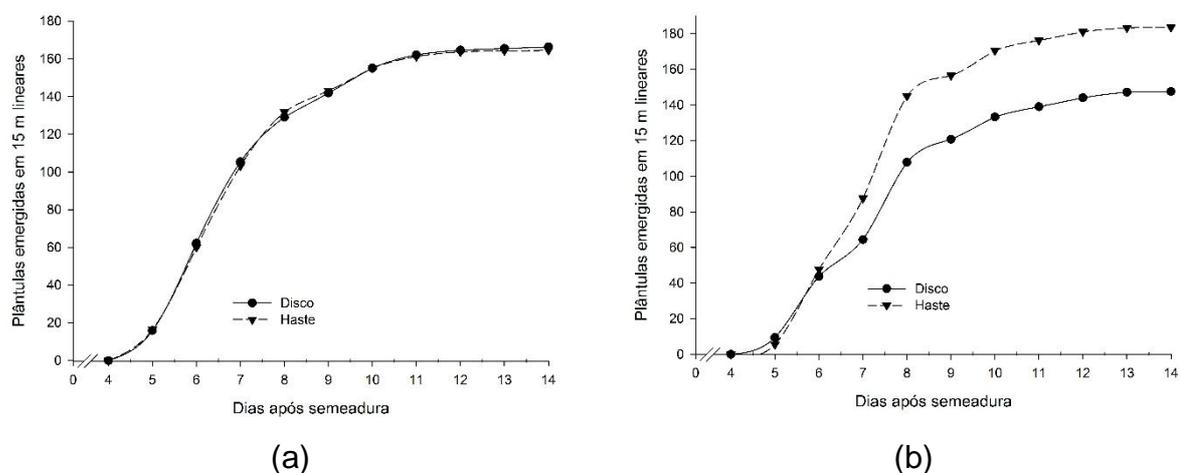


Figura 19 – Marcha de emergência da cultura da soja para os mecanismos sulcadores na (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Na Figura 20 é apresentada a marcha de emergência em função das quatro densidades do solo testadas, onde é possível notar a tendência de maior velocidade de emergência com o aumento do nível de compactação do solo, possivelmente provocado pelas menores profundidades de semeadura observadas nos tratamentos mais compactados (Figura 15). Trabalhando em três profundidades de semeadura em Latossolo Vermelho, Silva et al. (2004), com de milho, e Grotta et al. (2008), com amendoim, observaram que as sementes colocadas na menor profundidade necessitaram de menos dias para emergir.

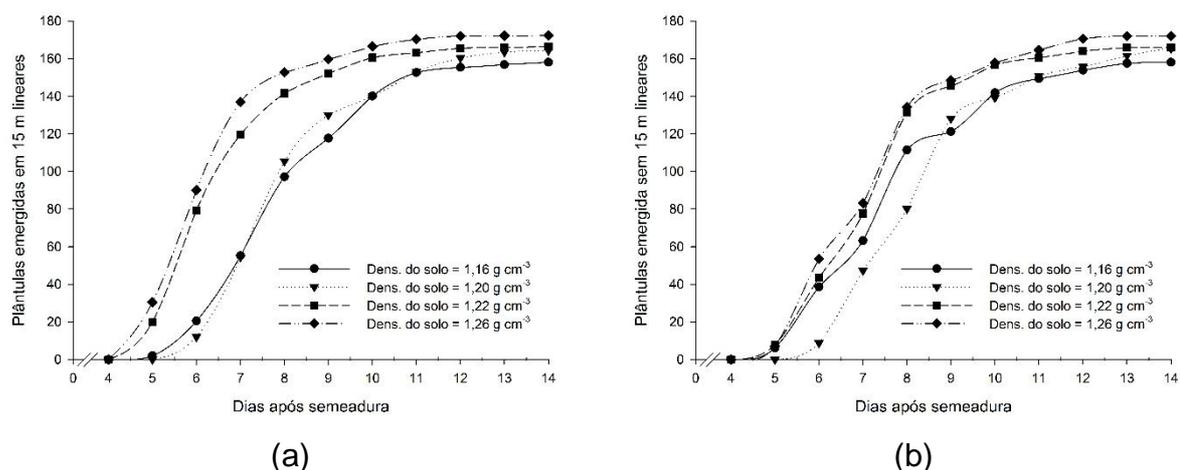


Figura 20 – Marcha de emergência da cultura da soja para diferentes densidades do solo na (a) safra 2013/2014 e (b) safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

4.2.6 Estande Final de Plantas

Observou-se na safra 2013/2014 correlação linear entre o estande final de plantas e a densidade do solo quando utilizado disco duplo (Figura 21), sendo que a maior densidade do solo ($1,26 \text{ g cm}^{-3}$) proporcionou o maior estande de plantas ($260.000 \text{ plantas ha}^{-1}$). O menor estande final apresentado pela menor densidade do solo, pode estar relacionado com a maior profundidade de semeadura obtida nesta densidade (Figura 15), fazendo com que a plântula ainda frágil necessite de maior vigor para emergência à superfície (TILLMANN et al., 1994). No entanto, quanto se utilizou a haste sulcadora não se constatou influência da densidade do solo no estande final de plantas, cujo valor médio observado foi de $233.888 \text{ plantas ha}^{-1}$.

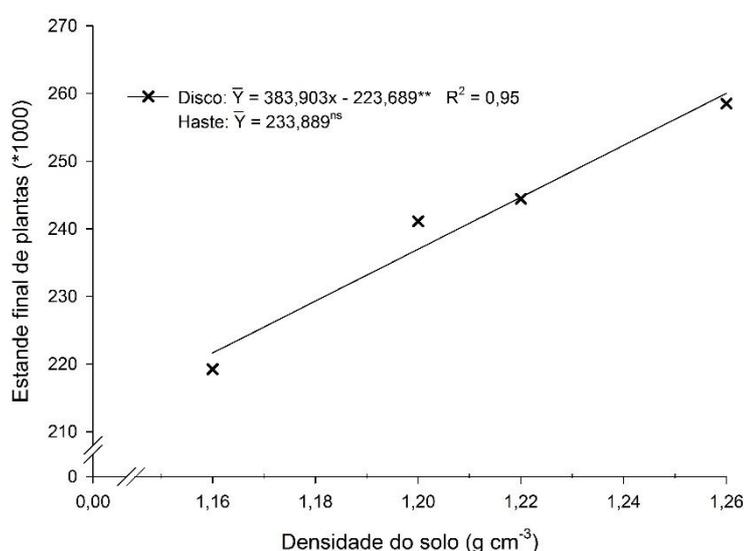


Figura 21 – Estimativa do estande final de plantas de soja (plantas ha^{-1}) na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. ^{ns}: não-significativo. ^{**}: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Na safra 2014/2015 o estande final de plantas foi influenciado apenas pelos mecanismos sulcadores, não constatando efeito da densidade do solo sobre esta variável. Na Tabela 9 é possível observar que o estande final utilizando a haste sulcadora foi 20% maior que o apresentado pelo disco duplo, situação caracterizada também, pela marcha de emergência de plântulas, conforme observado na Figura 19b. No segundo ano de experimento a haste sulcadora apresentou melhor desempenho, em comparação com o disco duplo, pois esta gerou maior mobilização do solo, melhorando com isso, o enterrio de sementes e lhes fornecendo melhores condições de germinação.

Tabela 9 – Estande final de plantas de soja (plantas ha⁻¹) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Estande final de plantas (*1000)
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	205,5 b
Haste	247,5 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Foi estudado por Alves et al. (2003) genótipos de feijoeiro em Latossolo Vermelho submetido a seis níveis de compactação do solo, obtidos por tráfego de um rolo compactador com posterior escarificação até 0,08 m de profundidade. A densidade do solo variou entre 1,08 e 1,50 g cm⁻³, influenciando significativamente o estande final de plantas que apresentou redução com o aumento de densidade, comportamento inverso ao obtido na primeira safra do presente trabalho.

Na safra 2013/2014, o estande final de plantas reduziu em relação ao esperado em média 9% utilizando o disco duplo e 12% utilizando a haste sulcadora, já na safra seguinte o disco gerou redução de 23% e a haste 7%.

Estudos em Latossolos Vermelho, comparando os efeitos dos sistemas de sulcamento tipo haste e disco são conflitantes. Trogello et al. (2013) e Sonada et al. (2013) não encontraram diferença de estande final para os dois mecanismos, já Arf et al. (2008) e Kaneko et al. (2010) verificaram em dois anos consecutivos que o mecanismo de abertura tipo haste aumentou significativamente esta variável em relação ao disco duplo.

4.3 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA

Na primeira safra constatou-se que a densidade do solo influenciou significativamente apenas o diâmetro de colmo e os mecanismos sulcadores influenciaram os resultados de diâmetro de colmo e produtividade da cultura, sendo observado nesta safra interação entre os fatores para o número de vagens por planta. No segundo ano de experimento, foi observado apenas a influência significativa dos mecanismos sulcadores, sobre os resultados de altura final de

planta, diâmetro de colmo e número de vagens por planta. Não foi constatado interação entre dos fatores e não houve diferença significativa quanto a densidade do solo (Tabela 10).

Tabela 10 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres altura final de planta (AFP), diâmetro do colmo (DC), número médio de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade da cultura (PROD) nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

FV	GL	Safr 2013/2014					
		AFP	DC	NGV	NVP	MMG	PROD
Bloco	3	46,52	0,26	0,027	46,76	375,91	0,37
Densidade solo (D)	3	2,11	0,53**	0,019	1,80	64,12	0,02
Erro (a)	9	9,69	0,09	0,018	33,29	29,67	0,03
Sulcador (S)	1	0,69	0,46*	0,032	44,18	16,04	0,40**
DxS	3	9,33	0,11	0,001	84,50*	0,75	0,04
Erro (b)	12	6,65	0,07	0,013	20,68	35,15	0,02
C.V. (D) (%)		4,00	3,74	7,03	13,35	4,33	7,52
C.V. (S) (%)		3,31	3,33	5,82	10,52	4,72	5,74
		Safr 2014/2015					
Bloco	3	6,49	0,78	0,053	0,46	7,64	0,81
Densidade solo (D)	3	7,07	0,02	0,025	0,08	182,36	0,07
Erro (a)	9	3,34	0,16	0,034	0,17	128,85	0,04
Sulcador (S)	1	58,07**	3,20**	0,002	2,31**	0,25	0,08
DxS	3	9,78	0,06	0,043	0,19	78,14	0,07
Erro (b)	12	5,84	0,33	0,034	0,16	126,93	0,02
C.V. (D) (%)		2,48	4,92	8,17	5,30	9,46	5,71
C.V. (S) (%)		3,38	7,14	8,13	5,18	9,38	4,36

*: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.3.1 Altura Final de Planta

Na safra 2013/2014 não foi observado influência dos mecanismos sulcadores e densidade do solo sobre a altura final de plantas, sendo a altura média observada de 77,83 cm. No segundo ano de experimento, a altura final de plantas foi influenciada significativamente apenas pelos mecanismos sulcadores. A haste

sulcadora propiciou maior desenvolvimento aéreo (Tabela 11). Giarola et al. (2009) comentam que as camadas de solo compactadas, comum ao sistema de plantio direto pelo tráfego dos implementos agrícolas associado ao não-revolvimento do solo, limitam o crescimento das raízes influenciando, inclusive, o rendimento das culturas. Assim a haste sulcadora por mobilizar mais o solo, em comparação com o disco duplo (Tabela 7), permitiu que as raízes explorassem maior volume de solo propiciando um maior desenvolvimento aéreo da cultura.

Tabela 11 – Altura final de plantas de soja (cm) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Altura final de planta (cm)
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	72,3 b
Haste	75,0 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Este resultado não foi observado na safra 2013/2014, pois, a área mobilizada pela haste sulcadora, nesta ocasião, foi próxima da proporcionada pelo disco duplo, provavelmente em função da atuação do mecanismo “pula pedra”. Desta forma, o crescimento radicular utilizando os dois mecanismos, tende a ser similar.

Concordando com os resultados observados no presente trabalho, Giarola et al. (2009) obtiveram a mesma altura de planta ao avaliarem dois níveis de compactação de um Latossolo Vermelho com densidades de 1,38 e 1,45 g cm⁻³ (na profundidade 0,0 a 0,10 m). Porém, Oliveira et al. (2012) trabalhando em Latossolo Vermelho irrigado e sob níveis de compactação, com densidades do solo na camada de 0,0 a 0,10 m variando entre 1,20 e 1,36 g cm⁻³, obtiveram menores alturas de planta com o aumento da compactação, provocado pela redução da macroporosidade, afetando assim a aeração nas raízes das plantas. Resultado semelhante foi obtido por Beutler et al. (2006), também em Latossolo Vermelho sob

níveis de compactação, cujas densidades do solo variaram de 1,31 a 1,71 g cm⁻³ (na profundidade 0,08 a 0,11 m).

4.3.2 Diâmetro do Colmo

A análise da variância do diâmetro do colmo, indica diferença significativa para a densidade do solo no experimento realizado na safra 2013/2014, porém, o resultado da análise de regressão indicou que o diâmetro do colmo independe da densidade do solo, sendo observado um valor médio de 7,82 mm.

Quanto aos mecanismos sulcadores, estes provocaram efeitos significativos sobre o diâmetro do colmo tanto na safra 2013/2014 quanto na safra 2014/2015. Na primeira safra, o uso da haste proporcionou um diâmetro de colmo 3% maior que o disco duplo, já na safra seguinte a situação foi inversa com o disco duplo apresentado resultado 4% maior (Tabela 12). Estes resultados condizem com os observados por Nakagawa et al. (1988), que ao avaliarem diferentes densidades de plantas de soja, em duas épocas de semeadura, verificaram que a menor densidade de plantas originou plantas com maior diâmetro do colmo, em virtude da menor competição entre as plantas. Observa-se no presente trabalho que a densidade de plantas no primeiro ano de experimento, utilizando a haste sulcadora, foi menor que a apresentada com o disco, cujos valores médios absolutos foram 233.889 e 240.833 plantas ha⁻¹, respectivamente. Esta situação se inverteu no segundo ano de experimento, com a haste propiciando 247500 plantas ha⁻¹ e o disco 205500 plantas ha⁻¹ (Tabela 9).

Estudando manejos de solo na cultura da soja em Nitossolo Vermelho, Seki (2010) não observou diferença para o diâmetro do colmo em semeadura direta utilizando a haste sulcadora ou disco duplo.

Tabela 12 – Diâmetro de colmo de plantas de soja (mm) em função dos mecanismos sulcadores nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Diâmetro de colmo (mm)	
	Safra 2013/2014	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)		
Disco	7,69 b	8,13 a
Haste	7,94 a	7,81 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey.

4.3.3 Número Médio de Grãos por Vagem

O número médio de grãos por vagem não foi influenciado pela variação de densidade do solo nem pelos mecanismos de abertura dos sulcos para deposição dos fertilizantes nas duas safras avaliadas. Foram observados valores médios de 1,9 e 2,3 grãos por vagem nas safras 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente.

A ausência de resposta para esta variável provavelmente se deve ao fato de que o número de grãos por vagem da cultivar utilizada ser uma característica tipicamente genética, não sendo portanto influenciada pelos tratamentos (CENTURION et al., 2006).

Resultados semelhantes foram encontrados por Beutler et al. (2006) e Girardello (2014), avaliando níveis de compactação em Latossolo Vermelho. Mesmo resultado foi obtido por Centurion et al. (2006) avaliando duas cultivares de soja em casa de vegetação, com amostras de Latossolo Vermelho sob densidades entre 0,93 a 1,6 g cm⁻³.

4.3.4 Número de Vagens por Planta

Para safra a 2013/2014, verifica-se aumento no número de vagens por planta a medida que se aumenta a densidade do solo quando se utiliza a haste sulcadora (Figura 22). No entanto, ao utilizar o disco duplo, a análise de regressão indica que o número de vagens por planta independe da densidade do solo, sendo observado valor médio de 42,02 vagens por planta.

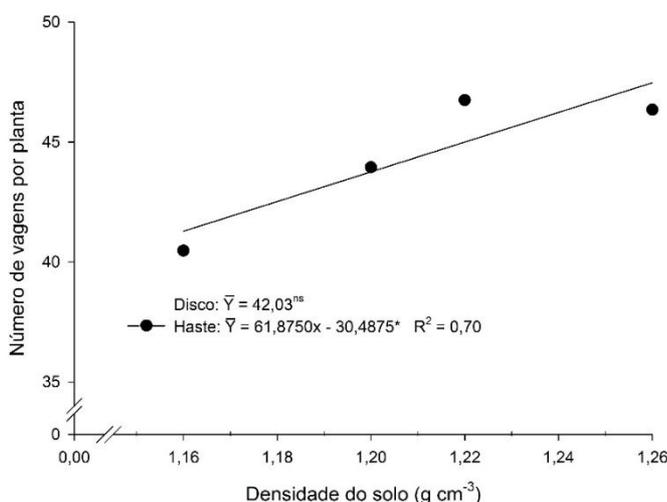


Figura 22– Estimativa do número médio de vagens por planta na safra 2013/2014 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. ^{ns}: não-significativo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Observou-se na safra 2014/2015, influência apenas dos mecanismos sulcadores (Tabela 13) onde é observado que o número de vagens por planta obtido utilizando o disco duplo foi 15% maior que o apresentado com a haste sulcadora.

Tabela 13 – Número médio de vagens por planta em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Número de vagens por planta	
	Safra 2014/2015	
Sulcadores (S)		
Disco	63,8 a	
Haste	55,3 b	

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Na safra 2014/2015, o maior número de vagens por planta correspondeu aos menores estandes finais de planta (Tabela 9). Estando em acordo com estudos, que verificando a influência da densidade de semeadura sobre os componentes de produção e rendimento da soja, indicam que o aumento da densidade de semeadura diminui o número de vagens por planta. Este comportamento ocorre, pois, nas maiores densidades de semeadura existe maior competição por luz, água, nutrientes

e menor disponibilidade de fotoassimilados reduzindo por consequência o número de vagens (NAKAGAWA et al., 1988; PEIXOTO et al., 2000; MAUAD et al. 2010).

4.3.5 Massa de Mil Grãos

Observou-se neste trabalho que a massa de mil grãos não foi influenciada pelas variáveis densidade do solo e mecanismos sulcadores, nas duas safras agrícolas. Os valores médios observados foram 125,67 e 120,05 g na primeira e segunda safra, respectivamente. É observado por Centurion et al. (2006) e Art et al. (2008), que assim como o número de grão por vagem, a massa de mil grãos está mais relacionada com as características genética da cultivar.

Estes resultados condizem com os encontrados por Andreolla (2005), que estudando a eficiência de mecanismos sulcadores em Latossolo Vermelho sob integração lavoura-pecuária, não observou diferença significativa para a massa de mil grãos obtida com a haste sulcadora, disco duplo e pastejo estudado. Arf et al. (2008) e Kaneko et al. (2010), em estudos com feijoeiro, também não observaram influência dos mecanismos sulcadores sobre a massa de cem grãos em dois anos de experimento.

Avaliando o efeito da compactação em Latossolo Vermelho na produtividade de cultivares de soja, Beutler et al. (2006) encontraram menor peso de cem sementes no solo sem compactação. Os autores justificam esse resultado, pelo fato de uma pequena compactação ser benéfica ao aumentar a condutividade hidráulica insaturada do solo, aumentando o transporte de nutrientes até às raízes, além de melhorar o contato entre solo e raiz, aumentando assim a taxa de absorção de água e nutrientes pelas raízes.

4.3.6 Produtividade da Cultura

Não se observou influência da densidade do solo sobre o rendimento de grãos, nas duas safras avaliadas. Ocorreu diferença significativa apenas quanto ao mecanismo sulcador, com a haste sulcadora produzindo cerca de 11% a mais que o

disco duplo, no experimento realizado na safra 2013/2014, conforme observado na Tabela 14. Considerando que os componentes do rendimento, número de grãos por vagem e a massa de mil grãos não diferiram significativamente entre os sulcadores, este, resultado foi influenciado somente pela variável número de vagens por planta (Figura 22), que em média foi 6% maior ao utilizar a haste sulcadora. O rendimento médio observado no segundo ano de experimento foi 3,57 t ha⁻¹.

Tabela 14 – Produtividade de soja (t ha⁻¹) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Produtividade (t ha ⁻¹)
	Safra 2013/2014
Sulcadores (S)	
Disco	2,10 b
Haste	2,33 a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

O bom fornecimento de água ocorrido durante as duas safras, observado nas Figuras 1 e 2, pode ter contribuído para a falta de resposta dos níveis de densidade testados sobre os parâmetros de produtividade. Diversos autores indicam que a compactação do solo diminui o crescimento radicular das plantas de soja, no entanto, é possível que a redução de volume de solo explorado pelas raízes, não seja suficiente para restringir o suprimento de água e nutrientes à parte aérea das plantas, mantendo a produção da cultura (OLIVEIRA et al., 2012; GIAROLA et al., 2009; CENTURION et al., 2006).

A soja é sensível a temperatura e ao fotoperíodo, podendo ocorrer floração precoce em decorrência de temperaturas mais altas e a menor duração das horas de luz do dia (EMBRAPA, 2011). Com isso, épocas de semeadura tardias podem reduzir a produtividade tanto das cultivares de ciclo precoce quanto de ciclo tardio (AMORIM et al., 2011). Esta situação possivelmente gerou a maior produtividade observada na safra 2014/2015 em comparação com a safra 2013/2014.

Trabalhando em Latossolo Vermelho sob níveis de compactação, Beutler et al. (2006) e Oliveira et al. (2012), obtiveram decréscimo da produtividade com o

aumento do nível de compactação, para densidades do solo variando de 1,31 a 1,71 g cm⁻³ e 1,20 a 1,36 g cm⁻³, respectivamente. Porém, Secco et al. (2009), trabalhando em Latossolo Vermelho, não constataram diferença significativa entre os níveis de compactação avaliados, com densidades do solo variando entre 1,38 e 1,55 g cm⁻³.

Testando a eficiência dos mecanismos sulcadores em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária, Andreolla (2005) obteve maior produtividade utilizando a haste. O mesmo resultado foi obtido por Arf et al. (2008) com feijoeiro em solo compactado, já Gurgacz (2007) obteve o mesmo rendimento utilizando a haste sulcadora e o disco duplo.

4.4 DEMANDA ENERGÉTICA NA BARRA DE TRAÇÃO

Na safra 2013/2014, foi observado influência significativa dos mecanismos sulcadores sobre a força de tração média, força de tração por linha de semeadura e potência média na barra. Não foi observado efeito da densidade do solo e interação entre os fatores (Tabelas 15 e 16).

Na safra 2014/2015 houve influência dos sulcadores sobre a velocidade média e força de tração por área de solo mobilizada. A densidade do solo afetou significativamente as forças de tração por profundidade de sulco e por área mobilizada, sendo observado interação significativa entre os fatores para as forças de tração média, por linha e máxima, além das potências média e máxima necessárias na barra de tração (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres velocidade de operação do conjunto mecanizado (VEL), força média na barra de tração (FTMED), força média na barra de tração por linha de semeadura (FTLIN) e força média na barra de tração por profundidade de sulco (FTSULC) nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

FV	GL	Safr 2013/2014			
		VEL	FTMED	FTLIN	FTSULC
Bloco	3	0,001	225991	9040	63758
Densidade solo (D)	3	0,034	424305	16972	164198
Erro (a)	9	0,040	1585991	63440	179056
Sulcador (S)	1	0,000	362330*	14493*	63730
DxS	3	0,007	60743	2430	84811
Erro (b)	12	0,009	45721	1829	63077
C.V. (D) (%)		3,82	12,94	12,94	25,02
C.V. (S) (%)		1,83	2,20	2,20	14,85
		Safr 2014/2015			
Bloco	3	0,033	334110	13364	12993
Densidade solo (D)	3	0,009	1106632	44265	137826*
Erro (a)	9	0,026	844535	33781	37420
Sulcador (S)	1	0,220**	226874000	9074962	5410
DxS	3	0,009	2509672*	100387**	3697
Erro (b)	12	0,009	280420	11217	19233
C.V. (D) (%)		3,48	10,32	10,32	14,42
C.V. (S) (%)		2,01	5,94	5,94	10,34

*: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). C.V.: Coeficiente de variação.

Tabela 16 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres força média na barra de tração por área mobilizada (FTAM), força máxima na barra de tração (FTMAX), potência média na barra de tração (POMED) e potência máxima na barra de tração (POMAX) e nas safras 2013/2014 e 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

FV	GL	Safr 2013/2014			
		FTAM	FTMAX	POMED	POMAX
Bloco	3	3789	957076	0,48	1,88
Densidade solo (D)	3	6989	977286	1,39	3,29
Erro (a)	9	4639	1866550	1,89	2,39
Sulcador (S)	1	253	929377	0,88*	1,81
DxS	3	4992	417118	0,18	0,59
Erro (b)	12	2545	389207	0,13	0,86

C.V. (D) (%)		33,25	11,97	9,68	9,29
C.V. (S) (%)		24,63	5,47	2,54	5,59
Safrá 2014/2015					
Bloco	3	1230	1238161	0,61	1,16
Densidade solo (D)	3	5943*	59645	1,57	0,29
Erro (a)	9	1153	1046194	0,77	1,67
Sulcador (S)	1	5165*	187663600	328,83	255,69
DxS	3	626	6289691**	3,86**	9,71**
Erro (b)	12	1025	892290	0,46	1,09
C.V. (D) (%)		17,27	8,69	7,73	8,61
C.V. (S) (%)		16,28	8,03	5,96	6,94

*: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.4.1 Velocidade de Operação do Conjunto Motomecanizado

Os níveis de densidade testados não influenciaram significativamente a velocidade média do conjunto motomecanizado em ambas safras analisadas, sendo observada uma velocidade média de $5,26 \text{ km h}^{-1}$ na safra 2013/2014 e $4,62 \text{ km h}^{-1}$ na safra 2014/2015.

Os mecanismos sulcadores influenciaram os resultados na safra 2014/2015, onde a velocidade média utilizando disco duplo foi 3,5% maior que a observada com a haste sulcadora (Tabela 17). Este resultado está atribuído a maior profundidade de sulco proporcionada pela haste em relação ao disco (Tabela 5), fazendo com que o trator aumentasse a patinagem do rodado-motriz e por consequência, reduzisse a velocidade de trabalho.

Tabela 17 – Velocidade de operação (km h^{-1}) do conjunto mecanizado em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Velocidade média (km h^{-1})
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	4,70 a
Haste	4,54 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2003b), Andreolla e Gabriel Filho (2006) e Gurgacz (2007) que observaram redução de velocidade, na ordem de 8,4%, 6,4% e 2%, respectivamente, utilizando a haste sulcadora ao invés do disco duplo, pela maior patinagem das rodas motrizes provocado pela maior força na barra de tração demandada pela haste. Porém, Seki et al. (2012) não observaram diferença significativa quanto a velocidade média entre os tratamentos que utilizaram haste sulcadora e disco duplo, ao utilizar um trator com alta potência mantendo a mesma marcha e rotação do motor. Utilizando haste sulcadora em Latossolo Vermelho sob níveis de compactação, Bonini et al. (2008), não observaram influência significativa da densidade do solo variando entre 1,23 e 1,37 g cm⁻³ sobre a velocidade média, uma vez que a profundidade de sulco se manteve aproximadamente constante entre os tratamentos.

4.4.2 Força Média na Barra de Tração

Na safra 2013/2014 foi observado influência dos mecanismos sulcadores, sendo que o disco duplo necessitou de mais de força de tração em relação a haste sulcadora (Tabela 18).

Tabela 18 – Força média requerida na barra de tração (N) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Força média (N)
	Safra 2013/2014
Sulcadores (S)	
Disco	9.839 a
Haste	9.627 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Ao contrário do observado neste trabalho, diversos autores relatam maior demanda de tração ao utilizar a haste sulcadora, já que esta é projetada para romper as camadas compactadas com maior capacidade de aprofundamento e de mobilização do solo, em comparação os discos duplos (SILVA, 2003b; CONTE et al.,

2008 e ROSA et al., 2012). No entanto, este incremento de força, observado no primeiro ano de experimento, com a utilização do disco, é provocado pela maior profundidade de sementeira (Tabela 4) que este elemento apresentou.

Na Figura 23, é representado a estimativa da força média na barra de tração, em função da densidade do solo, na safra 2014/2015. Nota-se comportamento linear, entre a força média e a densidade do solo para os dois sulcadores. A força requerida pela haste aumenta 197,2 N, enquanto a requerida pelo disco diminui 59,8 N, para cada unidade centesimal a mais de densidade do solo.

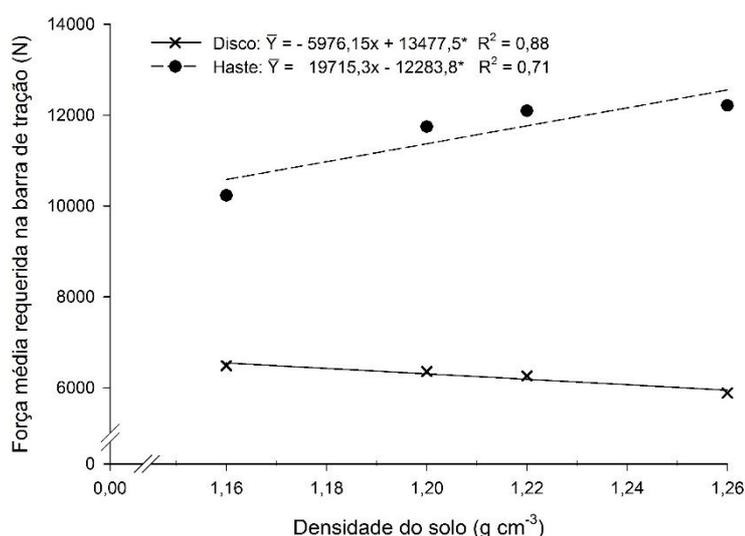


Figura 23 – Estimativa da força média na barra de tração (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Para a densidade do solo de $1,16\ g\ cm^{-3}$, a força exigida pela haste foi de 10.586 N e pelo disco 6.545 N. Já com a densidade de $1,26\ g\ cm^{-3}$ as forças demandadas foram de 12.557 (haste) e 5.948 N (disco). Com o acréscimo de densidade a força na barra utilizando a haste aumentou em 19% enquanto que, com o uso do disco reduziu em 9%. Estes resultados podem estar associados com a maior capacidade da haste em romper a camada compactada, necessitando para isso maior força de tração com o aumento da densidade do solo. O disco duplo, por ter mais dificuldade em mobilizar o solo, tem a tendência em gerar um sulco menos

profundo com o aumento do nível de compactação, exigindo assim menos força na barra de tração (SILVA, 2003b; CONTE et al., 2008;).

Em trabalhos conduzidos em Nitossolo Vermelho os valores de força de tração na barra, com semeadora composta por quatro linhas de semeadura, obtidos por Levien et al. (2011) e Seki et al. (2012) utilizando haste sulcadora foram 10,20 e 10,17 kN e utilizando disco duplo 7,72 e 4,31 kN, respectivamente. Andreolla e Gabriel Filho (2006), trabalhando em Latossolo Vermelho com semeadora equipada nove linhas de semeadura obtiveram 12,33 e 5,08 kN de força para haste e disco, respectivamente.

4.4.3 Força Média na Barra de Tração por Linha de Semeadura

Os resultados de força por linha de semeadura, seguem o mesmo comportamento do apresentado anteriormente para a força média. Observou-se na safra 2013/2014 influência apenas dos mecanismos sulcadores, com o disco demandando 2% a mais de força em cada linha de semeadura, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Força média na barra de tração por linha de semeadura (N) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Força média por linha (N)
	Safra 2013/2014
Sulcadores (S)	
Disco	1.968 a
Haste	1.925 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Na safra 2014/2015 nota-se correlação linear entre a força de tração por linha de semeadura com a densidade do solo, para os dois mecanismos sulcadores (Figura 24). A força requerida pela haste aumentou de 2.117 para 2.511 N, enquanto a requerida pelo disco diminuiu de 1.309 para 1.190 N, com o aumento de densidade do solo de 1,16 para 1,26 g cm⁻³.

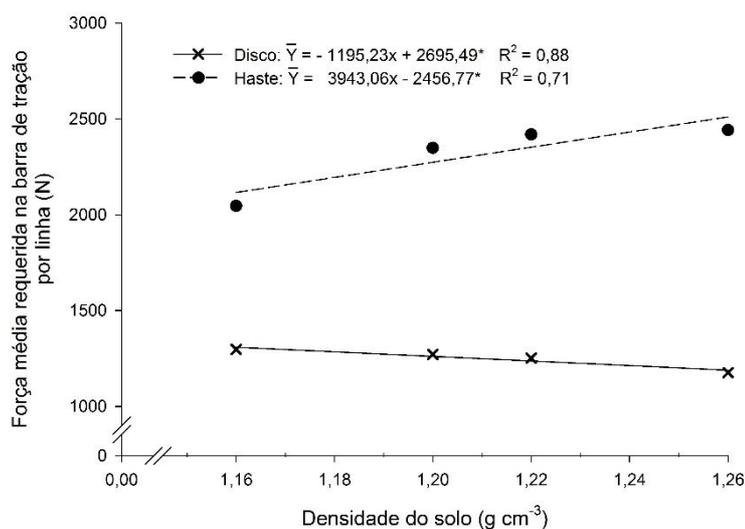


Figura 24– Estimativa da força média na barra de tração por linha de semeadura (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Estudando os esforços sobre elementos sulcadores em semeadoras de plantio direto em Latossolo Vermelho, Mion et al. (2009) não observaram diferença significativa entre os valores de força horizontal para tracionar a haste sulcadora (261,30 N) e o disco duplo (188,80 N). Já Silva (2003b), em Nitossolo vermelho, obtiveram maior força de tração utilizando a haste (344 N) em comparação com o disco (177 N). Mesma situação encontrada por Gurgacz (2007), em Latossolo pastejado que obteve 1.703 e 1.446 N por linha de semeadura utilizando a haste e disco, respectivamente. Bonini et al. (2008), trabalhando com haste sulcadora em Latossolo Vermelho com níveis de compactação variando entre 1,23 e 1,37 $g\ cm^{-3}$, não obtiveram diferença significativa da força de tração por linha com valor médio de 1,91 kN.

4.4.4 Força Média na Barra de Tração por Profundidade de Sulco

Na safra 2013/2014, não houve diferença significativa para a força de tração média por profundidade de sulco, com relação a densidade do solo e mecanismos sulcadores. O valor médio encontrado nesta safra foi de 1.691 $N\ cm^{-1}$. Seki et al. (2012), avaliando o desempenho de uma semeadora em Nitossolo Vermelho,

também não observaram diferença significativa entre os valores de força por profundidade de sulco demandados por haste sulcadora e disco duplo.

Já na safra 2014/2015, em virtude do travamento das linhas de semeadura, ocorreu diferença significativa em função do aumento na densidade do solo (Figura 25), indicando correlação de linear, com acréscimo de 28,2 N cm⁻¹ para cada unidade centesimal a mais de densidade do solo. Os valores obtidos com as densidades de 1,16 e 1,26 g cm⁻³, foram 1.200 e 1.483 N cm⁻¹, respectivamente. Este resultado mostra a influência da compactação do solo na demanda de tração, sendo necessário 23% a mais a força para mobilizar a mesma profundidade de sulco, quando comparado os dois níveis de densidade.

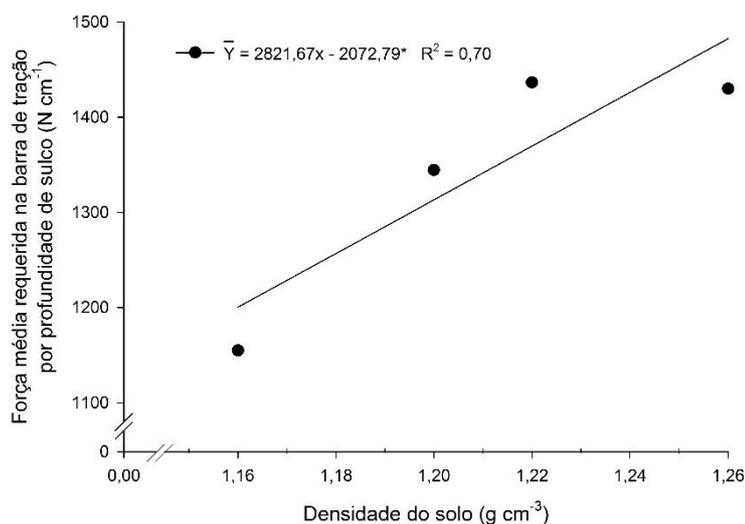


Figura 25 – Estimativa da força média na barra de tração por profundidade de sulco (N cm⁻¹) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo. *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Resultados semelhantes foram obtidos por Debiasi (2008), trabalhando em Argissolo Vermelho compactado, com densidades de 1,34 e 1,43 g cm⁻³ na profundidade até 0,06 m. Os valores de força de tração, demandada por uma haste sulcadora, foi igual a 64,1 e 93,5 N cm⁻¹, respectivamente, para a menor e maior densidade do solo.

4.4.5 Força Média na Barra de Tração por Área de Solo Mobilizada

Com relação à força requerida por área de solo mobilizada, nota-se que na safra 2013/2014 não houve efeito significativo da densidade do solo e sulcadores, apresentando valor médio de 205 N cm^{-2} . Na safra 2014/2015, é possível observar correlação linear entre a força por área mobilizada e a densidade do solo, com aumento de $592,43 \text{ N cm}^{-2}$ para cada unidade de acréscimo da densidade (Figura 26). Este comportamento acompanha o observado com a força de tração por profundidade de sulco, evidenciando que a compactação gerada pelos rodados do trator gerou aumentos significativos na força de tração demandada pela semeadora.

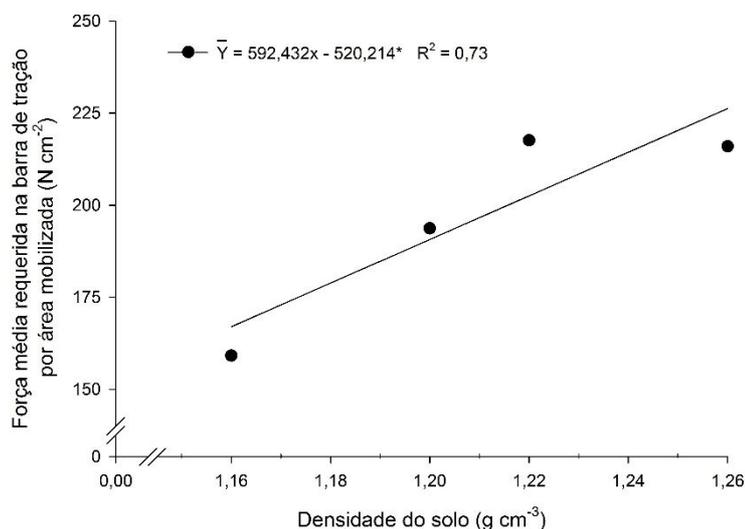


Figura 26 – Estimativa da força média na barra de tração por área de solo mobilizada (N cm^{-2}) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Resultados semelhantes foram obtidos por Conte et al. (2007) e Debiasi (2008), que encontraram maiores valores de força de tração por área mobilizada em solos sob compactação.

Na Tabela 20, é apresentado os resultados de força por área mobilizada em função dos mecanismos sulcadores, onde nota-se redução de 12% ao utilizar a haste sulcadora.

Tabela 20 – Força média na barra de tração por área de solo mobilizada (N cm^{-2}) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Força média por área mobilizada (N cm^{-2})
	Safra 2014/2015
Sulcadores (S)	
Disco	209,3 a
Haste	183,9 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Diversos autores observaram resultados semelhantes ao compararem a eficiência de mecanismos sulcadores. Seki et al. (2012), em Nitossolo Vermelho obtiveram em cada linha de semeadura $5,78 \text{ N cm}^{-2}$ utilizando haste sulcadora e $14,01 \text{ N cm}^{-2}$ com disco duplo, Levien et al. (2011), trabalhando com semeadora de 4 linhas, também em Nitossolo Vermelho, obteve $119,2$ e $137,2 \text{ N cm}^{-2}$ para haste e disco, respectivamente.

4.4.6 Força Máxima na Barra de Tração

A força de tração máxima solicitada durante o deslocamento do conjunto motomecanizado, não foi influenciada pelos mecanismos sulcadores e densidade do solo, na safra 2013/2014, cujo valor médio do pico de força na barra de tração observado foi 11.415 N .

Na safra 2014/2015 houve interação significativa dos fatores (Figura 27). Esta diferença se justifica pelo travamento das linhas de semeadura, ocorrido no segundo ano de experimento, permitindo maior aprofundamento da haste sulcadora. O valor de força máxima cresceu de 13.196 para 15.176 N utilizando a haste, e diminuiu de 10.315 para 8.370 N utilizando o disco, com o aumento de densidade do solo de $1,16$ para $1,26 \text{ g cm}^{-3}$. Esse comportamento é o mesmo para a força de tração média, gerado pelo maior aprofundamento da haste, mobilizando assim maior área de solo. Em média, a força máxima foi aproximadamente 23% maior que a força média ao utilizar a haste sulcadora e 50% utilizando o disco duplo.

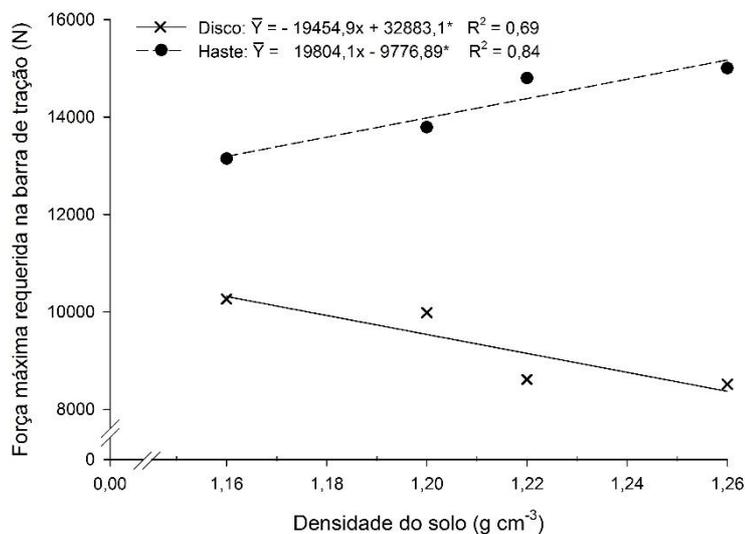


Figura 27 – Estimativa da força máxima na barra de tração (N) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Silva (2003b) observou acréscimo da força máxima em relação à força média de 15% com haste sulcadora e 24% com disco duplo, Seki (2010) observou 24% e 126%, respectivamente e Casão Júnior et al. (2000) obtiveram valores entre 11,9% e 32,0% utilizando haste sulcadora.

4.4.7 Potência Média na Barra de Tração

Os resultados obtidos de potência média na barra de tração, seguiram o mesmo comportamento do observado para a força de tração média. Houve influência dos sulcadores, na safra 2013/2014, sendo possível observar, na Tabela 21, que a potência necessária na barra de tração utilizando o disco duplo também foi 2% maior que o apresentado pela haste. Reforçando os resultados anteriores de demanda energética, onde a haste por ter gerado um sulco menos profundo, demandou menor potência.

Tabela 21 – Potência média na barra de tração (kW) em função dos mecanismos sulcadores na safra 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Tratamentos	Potência média (kW)
	Safra 2013/2014
Sulcadores (S)	
Disco	14,36 a
Haste	14,03 b

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem ($P \leq 0,05$) pelo teste Tukey

Para a segunda safra (Figura 28), observa-se comportamento linear entre a potência média requerida na barra e a densidade do solo. A potência média necessária aumentou de 13,29 para 15,85 kW, utilizando a haste sulcadora e diminuiu de 8,51 para 7,80 kW, utilizando o disco duplo, com o aumento de densidade do solo de 1,16 para 1,26 g cm^{-3} .

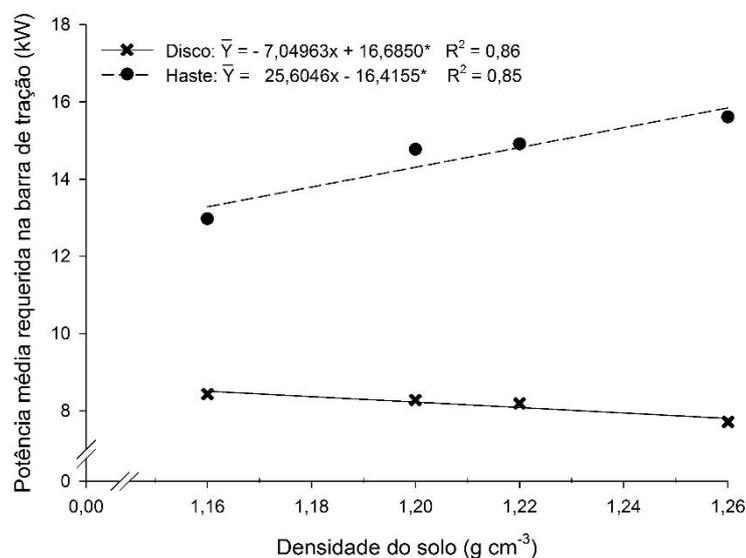


Figura 28 – Estimativa da potência média na barra de tração (kW) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Utilizando semeadora composta por quatro linhas trabalhando em Nitossolo Vermelho, Levien et al. (2011) encontraram potência média na barra de 15,83 kW utilizando a haste sulcadora e 12,46 kW utilizando o disco duplo, que propiciaram profundidade de semeadura de 4,5 e 4,2 cm, respectivamente, a uma velocidade média de trabalho de 5,5 km h^{-1} . Seki et al. (2012), também utilizando semeadora com quatro linhas em Nitossolo Vermelho, obtiveram potência média na barra de

15,48 kW utilizando a haste sulcadora e 5,59 kW utilizando o disco duplo, que geraram profundidades de sulco de 16,78 e 6,15 cm, respectivamente, com velocidade média em torno de 5,5 km h⁻¹. Andreolla e Gabriel Filho. (2006) trabalhando com nove linhas de semeadura em Latossolo Vermelho obtiveram 31,83 e 8,02 kW de potência na barra, em profundidades de sulco de 12,33 e 5,08 cm e velocidades média de deslocamento de 4,24 e 4,53 km h⁻¹, para haste e disco, respectivamente. Bonini et al. (2008), trabalhando com diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho, com densidade do solo variando entre 1,23 e 1,37 g cm⁻³, não observaram diferença significativa quanto a potência na barra por linha de semeadura em relação aos níveis de compactação.

4.4.8 Potência Máxima na Barra de Tração

A potência máxima exigida na barra de tração, seguiu o mesmo comportamento do observado para a força máxima na barra. Na safra 2013/2014, não houve diferença significativa para os fatores estudados sendo necessário uma potência máxima na barra de 16,65 kW. Na safra 2014/2015 (Figura 29), observa-se correlação linear entre a densidade e a potência máxima com valores aumentando de 16,56 para 19,15 kW utilizando a haste sulcadora e diminuindo de 13,42 para 10,98 kW ao utilizar o disco duplo, com o aumento de densidade do solo de 1,16 para 1,26 g cm⁻³.

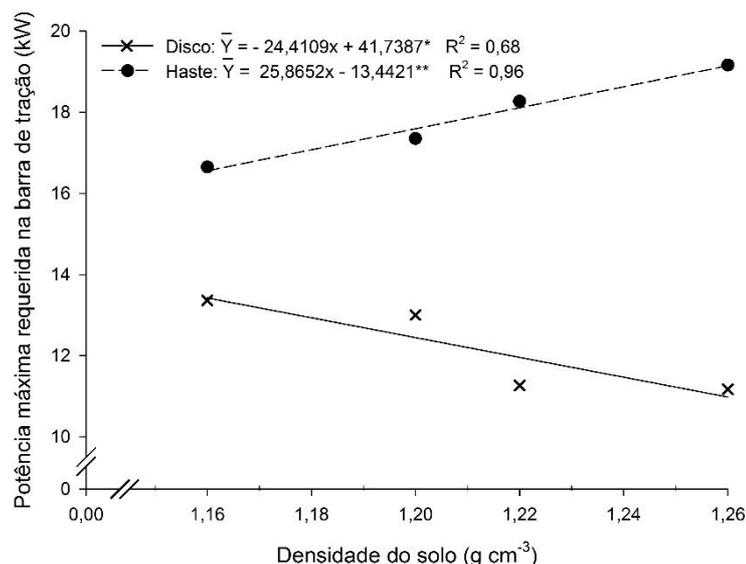


Figura 29 – Estimativa da potência máxima na barra de tração (kW) na safra 2014/2015 em função da densidade do solo e mecanismos sulcadores. *: Significativo ($P \leq 0,05$). **: Significativo ($P \leq 0,01$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Utilizando a haste sulcadora observa-se, portanto, que em média a potência máxima foi, 23% maior que a potência média e ao utilizar o disco duplo essa diferença subiu para 50%.

Para o dimensionamento de um conjunto trator-implemento é necessária uma análise de uma série de variáveis, dentre elas a máxima potência requerida do motor (SANTOS, 2010). Desta forma, estes resultados se tornam importantes, permitindo aproveitar melhor as características operacionais do trator agrícola, em função do sistema de sulcamento empregado.

Ao trabalhar em Nitossolo Vermelho com quatro linhas de semeadura, Seki (2010) não obteve diferença significativa para a potência máxima entre os sulcadores do tipo haste e disco duplo. Já Levien et al. (2011), também com uma semeadora com quatro linhas em Nitossolo Vermelho, obtiveram valores de potência máxima na ordem de 25,89 e 16,08 kW, em profundidades de semeadura de 4,5 e 4,2 cm utilizando haste sulcadora e disco duplo, respectivamente. Casão Júnior et al. (2000) utilizando semeadora com sete linhas, solo com densidade de 1,29 g cm⁻³ e haste sulcadora gerando profundidade de sulco aproximada de 10 cm, encontraram potência de pico de 22 e 50 kW para velocidades de trabalho de 4,5 e 8,0 km h⁻¹, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de tráfego sobre o solo aumentou a resistência à penetração, até aproximadamente 0,20 m de profundidade, e a densidade do solo, até 0,10 m, com maiores valores nos tratamentos com maior número de passadas.

A utilização da haste não se mostrou vantajosa, uma vez que a produtividade não diferiu entre os tratamentos e necessitou de maior demanda de força e potência.

Com a utilização do mecanismo “pula pedra”, os dois sulcadores testados apresentaram valores semelhantes de profundidade e largura de sulco de adubo e área de solo mobilizada.

Quanto maior a densidade do solo maiores são as exigências de força e potência, quando utilizado a haste sulcadora, sendo observado o inverso ao utilizar o disco duplo.

O aumento da densidade do solo reduziu a profundidade de semeadura e área de solo mobilizada, e aumentou o índice de velocidade de emergência de plântulas, estande final de plantas e número médio de vagens por planta de soja.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que a atuação da mola de segurança em solo compactado, afetou principalmente, os parâmetros de qualidade de semeadura e de demanda energética na barra de tração, já que a haste sulcadora exigiu maior força e potência na barra de tração, gerando maior área de solo mobilizado, maiores profundidades de sulco e semeadura quando comparado com o sulcador tipo disco duplo, com o sistema de segurança travado.

A qualidade de semeadura foi afetada pela densidade do solo, dificultando a sua mobilização na linha de semeadura com o aumento do nível de compactação. No entanto, a produtividade da cultura não foi influenciada pela densidade do solo, sendo observado, na primeira safra, vantagem da haste sobre o disco.

A condução deste experimento em condição de déficit hídrico pode levar a outros resultados, principalmente quanto aos parâmetros de desenvolvimento e produtividade da cultura. Sabe-se que as plantas possuem maior dificuldade em aprofundar o sistema radicular em solos com maior resistência a penetração prejudicando a busca por água e nutrientes, podendo afetar o seu desenvolvimento e produtividade. Esta verificação poderia ser feita em trabalhos futuros em áreas sob irrigação.

Sugere-se como pesquisas futuras estudos envolvendo outros modelos de hastes sulcadoras e semeadoras-adubadoras em solos com diferentes classes texturais, afim de verificar o desempenho dos elementos sulcadores, com as suas diversas geometrias possíveis, em implementos que se diferem quanto ao peso próprio e as regulagens do posicionamento dos elementos sulcadores, atuando em solos que possam responder de maneira diferente aos estados de compactação provocado pela ação humana.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. G.; ANDRADE, M. J. B. de; CORRÊA, J. B. D.; MORAES, A. R. de; SILVA M. V. da. Comportamento de genótipos de feijoeiro em Latossolo Vermelho distroférico típico com diferentes graus de compactação. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 33-43, 2003.

AMORIM, F. A.; HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B.; LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, C. D. L. Época de semeadura no potencial produtivo de soja em Uberlândia - MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 1793-1802, 2011.

ANDREOLLA, V. R. M. **Eficácia de sulcadores de semeadoras-adubadoras e suas implicações sobre a cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração lavoura-pecuária**. 174 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

ANDREOLLA, V. R. M.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 768-776, 2006.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max L.*) e milho (*Zea mays L.*) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226-237, 1999.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Mecanização do plantio direto: problemas e soluções**. Londrina, PR: IAPAR, 2001. 18 p. (Informe de Pesquisa, 137).

ARF, O.; AFONSO, R. J.; ROMANINI JUNIOR, A.; SILVA, M. A. da; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, ASAE standards 2003: **Standards engineering practices data**. San Joseph, 2003. (ASAE D497.4, ASAE D414.1, ASAE D477).

BERTOL, O. J.; AMADO, T. J. C.; SCHLOSSER, J. F.; REINERT, D. J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n 2, p. 257-262, 1997.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 787-794, 2006.

BEVILAQUA, G. A. P.; BROCH, D. L.; POSSENTI, J. C. Efeito da dose e da posição do fertilizante na absorção de nutrientes e no estabelecimento de plântulas de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 45-49, 1996.

BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

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

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Causas da compactação do solo**. 2006. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>> Acesso em: 11 de maio de 2015.

CAMILO, A. J.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; RESENDE, R. C. de. Influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 203-211, 2004.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 523-32, 2000.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012.

CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. da S.; SOUZA NETO, E. L. de. Compactação do solo no desenvolvimento e na produção de cultivares de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 203-209, 2006.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 561-566, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, RS: SBCS/ Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 394 p.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Levantamento de Safras**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 15 de julho de 2015.

CONTE, O.; LEVIEN R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 220-228, 2007.

CONTE, O.; LEVIEN R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 730-739, 2008.

DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 2, p. 6-9, 2001.

DA SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema de solo-máquina-planta**. 263 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. A soja no Brasil: História e estatística. Londrina, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 2 ed., 212p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1998/99. Londrina, 201p, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Embrapa Trigo, 36p, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Tecnologias de produção de Soja região central do Brasil. Embrapa Soja, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/instalacao.htm>> Acessado em: 03 agosto de 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Compactação do Solo: consequências para o crescimento vegetal. Embrapa Cerrados, 26p, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto. Embrapa Arroz e Feijão, 39p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Embrapa Solos, 306p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA**. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013. Embrapa Soja, 261p, 2011.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – **FEBRAPDP**. Disponível em: <<http://febrapdp.org.br/area-de-pd>> Acessado em: 28 julho de 2015.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. (Special Report, 80).

FRANCHIN, M. F. **Intensidades de pastejo e mecanismos sulcadores sobre o desenvolvimento do milho no sistema de integração lavoura pecuária**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – características de planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 793-803, 2009.

GAZZONI, D. L. **O futuro da soja e do programa de biodiesel**. 2012. Disponível em: < <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/gazzoni/futuro-soja-programa-biodiesel-170712.htm> >. Acesso em: 02 de fevereiro de 2015.

GERMINO, R.; BENEZ, S. H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes soldadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 85-92, 2006.

GIAROLA, N. F. B.; BRACHTVOGEL, E. L.; FONTANIVA, S.; PEREIRA, R. A.; FIOREZE, S. L. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado. **Acta scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 641-646, 2009.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2115-2125, 2011.

GIRARDELLO, V. C. **Atributos físicos do solo e a produtividade de soja e milho em área sob tráfego controlado de máquinas agrícolas**. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GREGO, Célia R. **Sistemas de manejo do solo e da cobertura vegetal na cultura da soja (*Glycine Max(L.) Merrill*) semeada com dois mecanismos sulcadores**. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N. dos; CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente na produtividade do amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 547-552, 2008.

GURGACZ, F. **Semeadura da soja em sistemas de rotação de culturas e integração agricultura-pecuária em um Latossolo sob sistema de plantio direto**. 69 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – **IAPAR**. Agrometeorologia. Disponível em: <<http://www.iapar.br>>. Acesso em: 20 de abril de 2015.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, M. K. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob

diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 845-855, 2009.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. de C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 125-133, 2010.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A. de; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F. de; REIS, E. F. dos. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 725-731, 2007.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.

LAZZAROTTO, J. J.; GARAGORRY, F. L.; HIRAKURI, M. H. Dinâmica espacial da produção brasileira de soja no período de 1975 a 2003. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 18p. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/881583>>. Acesso em: 15 de outubro de 2012.

LEVIEN, R.; FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; CONTE, O.; CAVICHIOLI, F. A. Semeadora direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 996-1002, 2011.

LIMA, C. L. R. de; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M., SUZUKI, L. E. A. S.. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.

MAACK, R. Geografia física do estado do Paraná. Curitiba: **Banco de desenvolvimento do Paraná**, 1968. 350p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P. da; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T. da; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste

escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 315-321, 2010.

MIALHE, Luíz. Geraldo. Máquinas agrícolas para plantio. São Paulo: Millennium. 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – **BRASIL**. Projeções do Agronegócio: Brasil 2013/2014 a 2023/2024 projeções de longo prazo. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília: MAPA/ACS, 2014.

MION, R. L.; BENEZ, S. H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1594-1600, 2008.

MION, R. L.; BENEZ, S. H.; VILIOTTI, C. A.; MOREIRA, J. B.; SALVADOR, N. Análise tridimensional de esforços em elementos rompedores de semeadoras de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1414-1419, 2009.

MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A.; SIVEIRA, J. C. M. DA; GNOATTO, E. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora de precisão com diferentes unidades de semeadura. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 473-479, 2005.

MODOLO, A. J.; FRANCHIN, M. F.; TROGELLO, E.; ADAMI, P. F.; SCARSI, M.; CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1200-1209, 2013.

NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R.; ROSOLEM, C. A. Efeito da densidade de plantas no comportamento de cultivares de soja, em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 9, p. 1003-1014, 1988.

OLIVEIRA, P. R. de.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. de S.; JÚNIOR L. S. B.; ROSSETTI, K. de V. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 587-597, 2012.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; SPAGNOLO, R. T.; BARROS, M. M. de.; VILAS BOAS, L. do A. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em Ciência do solo**: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão, SE: UFSC, Aracaju, SE: Fapitec, 2009.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimentos de grãos. Piracicaba: **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89 - 96, 2000.

PFEIFER, A. A.; MURATA, V. V.; BARROZO, M. A. S. Modelling of soybean seed drying in concurrent sliding bed dryers: Effect of the number of stages on the seed quality and drying performance. **Biosystems Engineering**, v. 107 n. 4, p. 341-348, 2010.

RAFIEE, S.; KEYHANI, A.; SHARIFI, M.; JAFARI, A.; MOBLI, H.; TABATABAEEFAR, A. Thin layer drying properties of soybean (*Viliamz* cultivar). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 289-300, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REIS, E. F. dos; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ARAÚJO, E. F. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 212-221, 2004.

REIS, E. F. dos; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAÚJO, E. F. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 777-786, 2006.

ROSA, D. P. da; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; ROSA, V. T. da; VIEIRA, D. A.; REINERT, D. J. Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 118-126, 2012.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 26p. Documentos, 136.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**, (Tese de doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010

SCHLOSSER, J. F.; BERTOL, O. J.; BERTOL, I.; LAVORANTI, O. J. Desempenho de três mecanismos sulcadores de semeadora na presença de diferenças culturais destinadas à cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 64-70, 1999.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB. **Comparativo da área, produção e produtividade para a cultura da soja (1ª safra)**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br>>. Acesso em 15 de julho de 2015.

SEKI, A. S. **Demanda energética e produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo**. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

SEKI, A. S.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional de semeadora e produtividade do milho em plantio direto e cultivo mínimo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 01-18, 2012.

SILVA, J. G. DA; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. DA. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, 2000.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M. FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 973-983, 2003.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays*L.) no sistema de plantio direto**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, campus Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

SILVA, R. P. da; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura sobre o desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 396-404, 2004.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; Efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água no solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 929-937, 2008.

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H.; JASPER, S. P.; SEKI, A. S.; MASIERO, F. C.; RIQUETTI, N. B. Semeadora-adubadora: mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1367-1373, 2012.

SILVEIRA, J. C. M. da. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade e rotação no eixo do motor**. 118 f. Tese (*Doctor Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVEIRA, J. C. M. DA; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

SIQUEIRA, R. Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos. Paraná**; <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Molin/leb432/Semeadoras/semeadora-adubadora.pdf>>. Acessado em 07/02/2014.

SONADA, R. Y.; YANO, E. H.; MEIRELLES, G. C.; NOVELLI, T. I.; SILVA, E. L. dos S. Modalidade de consórcio de gramíneas e mecanismos sulcadores na semeadura do milho. IN: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 2013, Campo Grande. **Anais**. Campo grande, MS.

TILLMANN, M. A. A.; PIANA, Z.; CAVARIANI, C.; MINAMI, K. Efeito da profundidade de semeadura na emergência de plântulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 260-263, 1994.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

TROGELLO E.; MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; SCARSI, M.; SGARBOSSA, M. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no

sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 286-291, 2012.

TROGELLO E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M. DALLACORT, R. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 101-109, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG**: sistema de análises estatísticas. Versão 9.1, 2007.

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

