

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

Tiago Rodrigo Francetto

**COMPORTAMENTO OPERACIONAL DE ELEMENTOS
SULCADORES DE FERTILIZANTE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA
DOS MESMOS PARA O MECANISMO DE CORTE**

Santa Maria, RS
2017

Tiago Rodrigo Francetto

**COMPORTAMENTO OPERACIONAL DE ELEMENTOS SULCADORES DE
FERTILIZANTE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DOS MESMOS PARA O
MECANISMO DE CORTE**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alongo

Santa Maria, RS
2017

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

Francetto, Tiago Rodrigo

Comportamento operacional de elementos sulcadores de fertilizante em função da distância dos mesmos para o mecanismo de corte / Tiago Rodrigo Francetto.- 2017.
153 f.; 30 cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço

Coorientador: Catize Brandelero

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2017

1. Relação máquina-solo 2. Ensaio em campo 3. Semeadora-adubadora 4. Haste sulcadora 5. Discos duplos desencontrados I. Alonço, Airton dos Santos II. Brandelero, Catize III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Tiago Rodrigo Francetto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Elídio Ribeiro, n. 29, Bairro Minuano, Santa Maria, RS. CEP: 97070-114

Fone: (051) 99842-6785; E-mail: tiagofrancetto@gmail.com

Tiago Rodrigo Francetto

COMPORTAMENTO OPERACIONAL DE ELEMENTOS SULCADORES DE FERTILIZANTE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DOS MESMOS PARA O MECANISMO DE CORTE

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 25 de abril de 2017:



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



Catize Brandelero, Dr^a. Eng^a. (UFSM)
(Coorientadora)



Paulo Carteri Coradi, Dr. Eng. (UFSM)



José Rene Freitas Gassen, Dr. Eng. (IFSul)



Wilnei de Oliveira Dias, Dr. Eng (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

A minha mãe, **Melania**, pelo admirável exemplo de força e apoio incondicional.
Ao meu pai, **Lauro**, pelo exemplo de vida, caráter e honestidade, sempre me apoiando
quando necessário.
A minha namorada, **Lúcia**, sustento nos momentos difíceis, quando os desafios pareciam
insuperáveis.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste estudo e, de maneira especial, agradeço:

Aos meus pais, **Lauro Antonio Francetto** e **Melania Gartner Francetto**, pelo exemplo admirável de vida, amor, incentivo constante e por sempre acreditarem na minha capacidade.

A minha namorada **Lúcia dos Santos Albanio**, pelo companheirismo, amor e incentivo, sem os quais não seria possível concretizar este objetivo.

A minha irmã, **Camila Luisa Francetto**, pela amizade, amor e compreensão nos momentos que me fiz ausente.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pelo apoio financeiro, oportunidade e ensinamentos.

Ao professor, orientador, amigo e colega, **Airton dos Santos Alonço**, pelas inúmeras oportunidades em minha carreira profissional, amizade, conselhos e ensinamentos, além de paciência nesses anos de convívio e de crescimento mútuo.

A professora e co-orientadora **Catize Brandelero**, pelo imenso auxílio, amizade e conselhos.

Ao meu grande amigo **Mateus Potrich Bellé**, pelos conselhos, amizade e pelo empréstimo de seu trator para a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas de laboratório **André Augusto Veit**, **Antonio Robson Moreira**, **Arthur de Lima Pires**, **Bruno Zart**, **Dauto Pivetta Carpes**, **Gabriel Chagas**, **Gessieli Possebom**, **João Paulo Ribeiro**, **Pablo do Amaral Alonço**, **Rafael Sobroza Becker** e **Vitor Pires Scherer**, pelo auxílio integral, amizade e estímulos.

Ao professor **Alessandro Dal'Col Lúcio**, pelo auxílio na parte estatística do trabalho.

Ao professor **Thomas Martin**, pela grande ajuda em um momento de extrema necessidade.

A banca examinadora, composta pelos professores **Catize**, **Paulo**, **Vilnei** e **José**, pela colaboração, esforço e compreensão.

Ao amigo e professor **Otávio Dias da Costa Machado**, pelas críticas construtivas e auxílio na construção deste estudo.

"A vida não consiste em ter boas cartas na mão e sim em jogar bem as que se tem."
Josh Billings

RESUMO

COMPORTAMENTO OPERACIONAL DE ELEMENTOS SULCADORES DE FERTILIZANTE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DOS MESMOS PARA O MECANISMO DE CORTE

AUTOR: Tiago Rodrigo Francetto
ORIENTADOR: Airton dos Santos Alonço

O objetivo foi determinar o efeito da distância longitudinal entre disco de corte e sulcador de fertilizante sobre o desempenho operacional destas associações trabalhando em diferentes velocidades de deslocamento, no que diz respeito ao requerimento energético e a qualidade de sulco, com o propósito de identificar a integração mecanismo/regulagem que apresente o menor consumo energético sem comprometer a qualidade do sulco. Este foi realizado em área agrícola situada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul), pertencente à Universidade Federal de Santa Maria. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo e textura franca. O experimento foi composto por 24 combinações de tratamentos, em um esquema fatorial de 2x3x4. Estes foram compostos pela interação dos fatores mecanismos de abertura de sulco (haste sulcadora e discos duplos desencontrados), distância longitudinal de centro a centro do mecanismo de corte e dos sulcadores (0,50, 1,0 e 1,50 m) e velocidades de deslocamento (1,11, 1,67, 2,22 e 2,78 m s⁻¹). As variáveis respostas do desempenho das associações de mecanismos foram obtidas de forma direta ou indireta, através da aplicação de diferentes métodos por distintas ferramentas. Após a aquisição dos dados, os mesmos foram submetidos à análise estatística de variância e verificado a significância dos fatores através do teste F. Além disso, foi realizada uma análise matemática da taxa de variação instantânea, com o uso do cálculo diferencial. Os fatores sulcador, distância e velocidade apresentaram influência estatisticamente significativa sobre as variáveis de desempenho primárias oriundas da instrumentação, exceto o fator distância sobre o patinamento dos rodados motrizes. Para as variáveis de mobilização do solo, o fator sulcador proporcionou alteração significativa em todas, enquanto que o fator distância modificou significativamente apenas a área elevada e a profundidade máxima do sulco. Já a velocidade, interferiu significativamente nesta última e na área de solo mobilizada. Ademais, nas variáveis secundárias, a modificação dos fatores sulcador e velocidade não proporcionaram alteração significativa apenas na variável empolamento, enquanto que a distância não modificou o consumo específico de combustível. O esforço tratório, o consumo horário e o patinamento, foram mais elevados para as configurações que empregam a haste sulcadora, apresentam maior distância e trabalham em maiores velocidades. A distância não modificou a área mobilizada, a largura e a profundidade do sulco, sendo que a redução desta diminuiu a área elevada. O emprego de velocidades e distâncias menores propiciou maior eficiência no uso da tração por unidade de profundidade e de solo mobilizada para ambos os sulcadores.

Palavras-chave: Relação máquina-solo, Ensaio em campo, Semeadora-adubadora, Haste sulcadora, Discos duplos desencontrados, Disco de corte.

ABSTRACT

OPERATING PERFORMANCE OF ELEMENTS FERTILIZER FURROWERS IN THE FUNCTION OF THE DISTANCE FOR THE COULTER

AUTHOR: Tiago Rodrigo Francetto
ADVISOR: Airton dos Santos Alonço

The objective was to determine the effect of longitudinal distance between coulters and furrow openers about the operational performance of these associations working in different forward speeds, with regard to the energy requirement and the amount of furrow, with the purpose of identifying the integration mechanism/regulation that presents the lowest energy consumption without compromising the quality of the furrow. This was carried out in an agricultural area located in the municipality of Santa Maria (Rio Grande do Sul), belonging to Universidade Federal de Santa Maria. The soil of the experimental area was classified as Ultisol and sandy. The experiment was composed of 24 combinations of treatments, in a factorial scheme of 2x3x4. These were composed by the interaction of the factors groove opening mechanisms (hoe furrow opener and mismatched double discs), longitudinal distance from center to center of coulters and furrowers (0,50,1,0 e 1,50 m) and forward speeds (1,11, 1,67, 2,22 e 2,78 m s⁻¹). The variables responses of the performance of the mechanisms associations were obtained directly or indirectly, through the application of different methods by different tools. After the acquisition of the data, they were submitted to statistical analysis of variance and verified the significance of the factors through the F test. In addition, a mathematical analysis of the instantaneous rate of change, with the use of the differential calculus. The furrow, distance and velocity factors had a statistically significant influence on the primary performance variables resulting from instrumentation, except the distance factor on the slipping of the driving wheels. For the variables of soil mobilization, the furrow factor provided a significant change in all, while the distance factor significantly modified only the raised area and the maximum furrow depth. Already the velocity, interfered significantly in the latter and in the area of mobilized soil. In addition, in the secondary variables, the modification of the furrow and speed factors did not provide significant change only in the variable soil swelling, while the distance did not change the specific fuel consumption. The traction, the hourly consumption and the skating were higher for the configurations that employ the hoe furrow opener, present greater distance and work at higher speeds. The distance did not modify the mobilized area, the width and the depth of the furrow, and the reduction of this reduced the elevated area. The use of lower speeds and distances provides greater efficiency in the use of traction per unit of depth and of soil mobilized for both furrowers.

Keywords: Machine-soil relation, Field testing, Row crop planter, Hoe type fertilizer furrow opener, Mismatched double-disc, Coulters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sequência de elementos em uma linha de semeadora-adubadora	32
Figura 2 - Discos de corte de resíduos culturais	34
Figura 3 - Semeadoras equipadas com diferentes mecanismos sulcadores	35
Figura 4 - Sulcador com órgão ativo fixo	37
Figura 5 - Principais forças que atuam nas hastes sulcadoras	38
Figura 6 - Sulcador com órgãos ativos rotativos de diâmetros iguais	39
Figura 7 - Relações dimensionais básicas dos discos duplos	40
Figura 8 - Associação entre mecanismos de abertura de sulco e de corte	41
Figura 9 - Diferentes distanciamentos longitudinais entre discos de corte e sulcadores	42
Figura 10 - Variáveis de mensuração do desempenho operacional dos mecanismos	43
Figura 11 - Indicativo gráfico da área de solo elevado e mobilizado	49
Figura 12 - Resistência específica operacional de diferentes implementos agrícolas de mobilização de solo	52
Figura 13 - Demanda de potência, consumo de combustível e tempo médio de trabalho para diferentes implementos trabalhando em distintas texturas de solo	57
Figura 14 - Força de tração demandada em função da velocidade de deslocamento em diferentes tipos de solo	58
Figura 15 - Localização espacial	61
Figura 16 - Resistência à penetração em função da profundidade	63
Figura 17 - Conjunto motomecanizado	66
Figura 18 - Disco de corte dos resíduos culturais	67
Figura 19 - Elementos de abertura do sulco: discos duplos (A) e haste sulcadora (B)	67
Figura 20 - Elementos da instrumentação eletrônica	71
Figura 21 - Transdutor de força tipo S	72
Figura 22 - Esquema simplificado da instalação do fluxômetro	73
Figura 23 - Circuito hidráulico do sistema para aferição do consumo de combustível	74
Figura 24 - Instalação do sensor indutivo para aferição da velocidade da roda	75
Figura 25 - Microperfilômetro para marcação dos perfis de solo	77
Figura 26 - Indicativo gráfico das variáveis quantitativas analisadas no sulco	78
Figura 27 - Comportamento da força de tração em função da distância	82
Figura 28 - Comportamento da força de tração em função da velocidade de deslocamento	84
Figura 29 - Superfície de resposta da demanda de força de tração	85

Figura 30 - Representação gráfica das funções matemáticas das associações.....	86
Figura 31 - Comportamento da demanda de potência em função da distância.....	87
Figura 32 - Comportamento da demanda de potência em função da velocidade	88
Figura 33 - Superfície de resposta da demanda de potência	89
Figura 34 - Ilustração gráfica das funções matemáticas que descrevem a demanda de Pb	91
Figura 35 - Superfície de resposta do consumo horário de combustível	92
Figura 36 - Consumo horário de combustível em função da distância.....	93
Figura 37 - Representação gráfica do consumo horário de combustível	94
Figura 38 - Superfície de resposta do patinamento dos rodados motrizes.....	95
Figura 39 - Comportamento do patinamento em função do fator distância.....	96
Figura 40 - Representação gráfica das funções matemáticas do patinamento	97
Figura 41 - Comportamento da área de solo mobilizada em função da distância	99
Figura 42 - Representação gráfica da alteração da área mobilizada com base nas funções ..	101
Figura 43 - Valor médio de elevação de solo para cada nível do fator distância.....	101
Figura 44 - Redução do valor de área elevada por projeção de solo	103
Figura 45 - Representação gráfica da área de solo elevada	103
Figura 46 - Profundidade máxima em função da velocidade.....	105
Figura 47 - Ilustração da alteração da largura do sulco	107
Figura 48 - Comportamento do consumo específico de combustível em função da velocidade	109
Figura 49 - Representação gráfica da alteração do C_e com base nas funções	111
Figura 50 - Comportamento do empolamento do solo em função da distância.....	111
Figura 51 - Representação gráfica da alteração do empolamento com base nas funções.....	113
Figura 52 - Comportamento da resistência específica operacional em função da distância..	114
Figura 53 - Comportamento da resistência específica operacional em função da velocidade	115
Figura 54 - Superfície de resposta da resistência específica operacional	116
Figura 55 - Representação gráfica das funções das associações sobre a variável Re_o	118
Figura 56 - Superfície de resposta da força de tração específica	119
Figura 57 - Representação gráfica das funções das configurações para a variável Fe	120
Figura 58 - Gráfico de contorno da densidade do solo da área experimental.....	148
Figura 59 - Gráfico de contorno do teor de água do solo da área experimental	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos, médios e máximos das características físicas do solo.....	63
Tabela 2 - Descrição dos fatores experimentais e seus respectivos níveis.....	64
Tabela 3. Número de amostras para as distintas variáveis de desempenho	64
Tabela 4 - Descrição do trator agrícola	66
Tabela 5 - Características construtivas dos sulcadores.....	67
Tabela 6 - Descrições e ilustrações entre disco de corte e sulcador disco duplo	68
Tabela 7 - Descrições e ilustrações entre disco de corte e sulcador haste.....	69
Tabela 8 - Processo de obtenção das variáveis de desempenho	70
Tabela 9 - Lista de equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica	71
Tabela 10 - Tarefas básicas compreendidas nas fases de utilização do microperfilômetro	77
Tabela 11 - Análise estatística com médias dos fatores, níveis e os resultados do teste F.....	81
Tabela 12 - Demanda de tração dos sulcadores para cada nível de distância	83
Tabela 13 - Demanda de tração dos sulcadores para cada nível de velocidade	84
Tabela 14 - Funções matemáticas que descrevem a demanda de força de tração	86
Tabela 15 - Demanda de potência dos sulcadores para cada nível de distância.....	88
Tabela 16 - Demanda de potência dos sulcadores para cada nível de velocidade.....	89
Tabela 17 - Funções matemáticas e derivadas das associações.....	90
Tabela 18 - Funções matemáticas do consumo horário de combustível	93
Tabela 19 - Sentenças matemáticas do patinamento dos rodados motrizes	96
Tabela 20 - Análise estatística para as variáveis primárias de mobilização do solo	98
Tabela 21 - Área de solo mobilizada para cada nível de distância.....	99
Tabela 22 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação da área de solo.....	100
Tabela 23 - Funções matemáticas da área elevada em função da velocidade	102
Tabela 24 - Interação entre sulcador, distância e velocidade na profundidade	104
Tabela 25 - Modificação da profundidade expressa matematicamente.....	105
Tabela 26 - Funções matemáticas da modificação da largura do sulco.....	106
Tabela 27 - Análise estatística para as variáveis secundárias.....	108
Tabela 28 - Consumo específico de combustível para cada nível de velocidade.....	109
Tabela 29 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação do consumo específico	110
Tabela 30 - Empolamento do solo para cada nível de distância.....	112
Tabela 31 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação do empolamento.....	113
Tabela 32 - Resistência específica operacional dos sulcadores para cada nível de distância	114

Tabela 33 - Resistência específica operacional dos sulcadores para cada nível de velocidade	116
Tabela 34 - Funções matemáticas que descrevem a resistência específica operacional	117
Tabela 35 - Funções matemáticas que descrevem a demanda de força de tração específica	120
Tabela 36 - Modificação da densidade do solo para cada parcela	147
Tabela 37 - Modificação do teor de água do solo para cada parcela	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ângulo entre os planos de rotação dos discos
A2	Folha A2 (420 × 594 mm)
AA	Ângulo de ataque
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ae	Área de solo elevada
Am	Área de solo mobilizada
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
ASAE	American Society of Agricultural Engineers
B	Ângulo do eixo horizontal com o ponto de contato
C	Largura do sulco
Ce	Consumo específico de combustível
cfa	Clima temperado úmido com verão quente
Ch	Consumo horário de combustível
CV	Coefficiente de variação
d	Densidade média do combustível
D1	Distância longitudinal 1 (0,50 m entre elementos)
D2	Distância longitudinal 2 (1,00 m entre elementos)
D3	Distância longitudinal 3 (1,50 m entre elementos)
dd	Em função de uma distância
DD	Disco duplo
DDD1	Disco duplo e distância 1
DDD2	Disco duplo e distância 2
DDD3	Disco duplo e distância 3
DDV1	Disco duplo e velocidade 1
DDV2	Disco duplo e velocidade 2
DDV3	Disco duplo e velocidade 3
DDV4	Disco duplo e velocidade 4
DL	Disco de corte liso
dt	Em função do tempo do percurso
dv	Em função da velocidade de deslocamento
dx	Fator de influência
dy	Variável de desempenho em análise
Em	Empolamento do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
F	Frequência captada pelo sensor
F1	Fator 1 (Sulcador)
F2	Fator 2 (Distância)
F3	Fator 3 (Velocidade)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Força de tração específica
FEBRAPDP	Federação de Associações de Plantio Direto na Palha
Fi	Força de tração instantânea
Fr	Força de reação do solo
Ft	Força de atrito
Ftr	Força de tração
G	Comprimento
H	Profundidade de trabalho
HS	Haste sulcadora

HSD1	Haste sulcadora e distância 1
HSD2	Haste sulcadora e distância 2
HSD3	Haste sulcadora e distância 3
HSV1	Haste sulcadora e velocidade 1
HSV2	Haste sulcadora e velocidade 2
HSV3	Haste sulcadora e velocidade 3
HSV4	Haste sulcadora e velocidade 4
LASERG	Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
Lm	Largura máxima do sulco
M	Massa do conjunto
MG	Média geral
n	Número de dados coletados
nd	Número de dentes da roda dentada
ns	Não significativo
P	Perímetro da roda
Pa	Patinamento dos rodados motrizes
Pb	Potência demandada na barra de tração
Pm	Profundidade máxima do sulco
Pu	Pulsos elétricos gerados pelo fluxômetro
Reo	Resistência específica operacional
Rr	Resistência ao rolamento
SF	Sulcador fixo
SPD	Sistema de plantio direto
SR	Sulcador rotativo
SSD	Sistema de semeadura direta
t	Tempo gasto
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
V	Velocidade média de deslocamento
V1	Velocidade de deslocamento 1 (1,11 m s ⁻¹)
V2	Velocidade de deslocamento 1 (1,67 m s ⁻¹)
V3	Velocidade de deslocamento 1 (2,22 m s ⁻¹)
V4	Velocidade de deslocamento 1 (2,78 m s ⁻¹)
Vo	Volume de combustível consumido
Vroda	Velocidade da roda
Vsg	Velocidade da roda que não desenvolve esforço tratório

LISTA DE SÍMBOLOS

cv	Cavalo vapor
cm	Centímetro
g cm^{-3}	Gramas por centímetro cúbico
g g^{-1}	Gramas por grama
g l^{-1}	Gramas por litro
g m^{-2}	Gramas por metro quadrado
g kWh^{-1}	Gramas por quilowatt hora
°C	Grau Celsius
ha	Hectare
Hz	Hertz
h	hora
h ha^{-1}	Hora por hectare
l	Litro
l h^{-1}	Litro por hora
m	Metro
$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Metro cúbico por hectare
m s^{-1}	Metro por segundo
m^2	Metro quadrado
mm	Milímetro
N	Newton
N m^{-1}	Newton por metro
kg	Quilograma
kg ha^{-1}	Quilograma por hectare
kg l^{-1}	Quilograma por litro
km h^{-1}	Quilometro por hora
kN	Quilonewton
kN linha^{-1}	Quilonewton por linha de sementeira
kN m^{-2}	Quilonewton por metro quadrado
kPa	Quilopascal
kW	Quilowatt
kW ha^{-1}	Quilowatt por hectare
kW linha^{-1}	Quilowatt por linha de sementeira
rad	Radianos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Hipóteses	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Sistema de semeadura direta.....	29
2.2 Semeadoras-adubadoras para semeadura direta	31
2.3 Mecanismos de corte dos resíduos culturais	33
2.4 Mecanismos de abertura de sulco de fertilizante.....	35
2.4.1 Abridores de sulco com órgão ativo fixo.....	36
2.4.2 Abridores de sulco com órgão ativo rotativo.....	39
2.5 Associações entre mecanismos de corte e abertura de sulco.....	41
2.6 Variáveis de desempenho operacional	43
2.6.1 Esforço tratório.....	44
2.6.2 Consumo de combustível	46
2.6.3 Mobilização do solo	48
2.6.4 Resistência específica operacional	51
2.6.5 Força de tração específica.....	53
2.6.6 Patinação dos rodados motrizes	53
2.7 Fatores de influência.....	54
2.7.1 Características dimensionais dos mecanismos	55
2.7.2 Regulagens da operação	56
2.7.3 Condições do solo.....	57
3 METODOLOGIA.....	61
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	61
3.2 Descrição dos fatores.....	64
3.3 Delineamento experimental e análise	64
3.3.1 Delineamento experimental.....	64
3.3.2 Análise das variáveis	65
3.4 Caracterização do conjunto motomecanizado	65
3.5 Mecanismo de corte dos resíduos culturais	66
3.6 Mecanismos de abertura de sulco	67
3.7 Instalação e condução do experimento.....	69
3.8 Aquisição de dados das variáveis de desempenho	70

3.8.1 Variáveis primárias	71
3.8.1.1 Esforço tratório	71
3.8.1.2 Consumo horário de combustível	73
3.8.1.3 Patinamento dos rodados motrizes.....	75
3.8.1.4 Mobilização do solo.....	76
3.8.3 Variáveis secundárias.....	78
3.8.3.1 Consumo específico de combustível.....	78
3.8.3.2 Empolamento do solo.....	78
3.8.3.3 Resistência específica operacional.....	79
3.8.3.4 Força de tração específica	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 Variáveis primárias oriundas da instrumentação eletrônica	81
4.1.1 Força de tração	82
4.1.2 Potência na barra de tração	87
4.1.3 Consumo horário de combustível	91
4.1.4 Patinamento dos rodados motrizes.....	94
4.2 Variáveis primárias de mobilização.....	97
4.2.1 Área de solo mobilizada.....	99
4.2.2 Área de solo elevada	101
4.2.3 Profundidade máxima do sulco.....	104
4.2.4 Largura máxima do sulco.....	106
4.3 Variáveis secundárias.....	107
4.3.1 Consumo específico de combustível.....	109
4.3.2 Empolamento do solo.....	111
4.3.3 Resistência específica operacional.....	114
4.3.4 Força de tração específica	118
5 CONCLUSÃO	123
6 REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A - VARIABILIDADE DA DENSIDADE DO SOLO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	147
APÊNDICE B - VARIABILIDADE DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	149

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é um das áreas da engenharia agrícola que pode descrever a aplicação dos aspectos da tecnologia no desenvolvimento agrícola. Em muitos países, o desenvolvimento de investigações a respeito deste tema, tem possibilitado elevação na produtividade das culturas e avanços significativos na busca pelo acréscimo da eficiência em operações agrícolas mecanizadas, já que existe a possibilidade de aplicação destas inovações nos mais distintos setores que buscam, de forma ativa, soluções específicas a problemas sociais, econômicos e técnicos.

Uma destas tecnologias específicas, que propiciou evolução da agricultura brasileira, foi sem dúvida o desenvolvimento do sistema de plantio direto (SPD). Sua implementação preconiza os princípios da adoção do revolvimento mínimo do solo, a manutenção de uma quantidade considerável de resíduos vegetais sobre a superfície e a prática de um programa de rotações de culturas. Logo, por possibilitar inúmeras vantagens ao processo produtivo, o crescimento da área semeada e conduzida com esse sistema no Brasil, apresentou exponencial implementação a partir da metade dos anos 1980.

Contudo, pela diminuição do número de intervenções mecânicas e a implementação dos princípios do sistema de plantio direto destacados anteriormente, sua inadequada implementação pode causar elevada interferência na produtividade das culturas. Dessa forma, torna-se inevitável a necessidade de semeadoras e mecanismos capazes de realizar suas funções com qualidade e reduzida demanda energética, desde a dosagem e a distribuição de insumos até a abertura e fechamento do sulco.

Como resultado, mecanismos para cisalhamento dos resíduos culturais e formação do sulco, além de regulagens de distância entre estes, foram idealizados para realização destas tarefas, como o chamado triplo disco (disco de corte e sulcador disco duplo), o facão afastado (mecanismo de corte e sulcador haste espaçados) e o facão guilhotina (disco de corte e sulcador haste próximos).

Contudo, o comportamento operacional destes arranjos de mecanismos podem apresentar diferenças entre si, alterando a intensidade, direção e sentido de algumas de suas variáveis de desempenho, em função de alterações da distância entre os mesmos, analisando-os em condições de trabalho semelhantes. Além disso, tal fato também poderia ser ampliado pela influência de regulagens operacionais, como é o caso da velocidade de deslocamento.

Logo, este trabalho parte do pressuposto de que é possível a identificação e mensuração do comportamento operacional de sulcadores quanto a estas regulagens, obtendo-se resultados potencialmente benéficos e confiáveis aos usuários e/ou fabricantes. Assim, tal fato poderia interferir em modificações futuras nos mecanismos atuais e/ou em novos que podem ser desenvolvidos para sanar possíveis dificuldades identificadas, antes da aplicação/utilização em determinadas máquinas.

Dessa forma, o objetivo geral foi determinar o efeito da distância longitudinal entre disco de corte e sulcador de fertilizante sobre o desempenho operacional destas associações trabalhando em diferentes velocidades de deslocamento, no que diz respeito o requerimento energético e a qualidade de sulco.

Os objetivos específicos foram identificar cenários específicos de trabalho para cada associação de mecanismos e regulagens com base nas variáveis de desempenho obtidas, apresentando uma ferramenta de auxílio para seleção destes. Além disso, prescrever métodos de obtenção e avaliação de variáveis de desempenho de ferramentas agrícolas em condições de campo.

1.1 HIPÓTESES

- I - Se os tratamentos definidos pelos mecanismos de abertura de sulco, pelas distâncias longitudinais entre estes e o disco de corte e pelas velocidades de deslocamento do conjunto afetam o esforço tratório, então este aumentará proporcionalmente com o acréscimo da distância e da velocidade, sendo que as associações com o sulcador tipo haste exigirão maior esforço que as integradas ao disco duplo.
- II - Se os tratamentos afetam o esforço tratório conforme a hipótese I, e este se relaciona com a demanda de potência, o consumo horário de combustível e o patinamento de forma proporcional, então estas variáveis aumentarão com a velocidade e a distância, sendo novamente maiores para as associações com o sulcador haste em relação aos que utilizam os discos duplos, quando avaliado o desempenho em campo.
- III - Se os tratamentos diferem quanto as variáveis de mobilização do solo, então a área de solo mobilizada sofrerá influência do tipo de sulcador, sendo maior para as associações que empregarem o sulcador tipo haste, e a alteração de distância e da velocidade não interferirá na variável.
- IV - Se os tratamentos diferem quanto à mobilização do solo, então a área de solo elevada será maior para as associações que empregarem o sulcador tipo haste em comparação

as com discos duplos, sendo que para ambos sulcadores esta variável será ampliada quando estes estiverem distantes do mecanismo de corte e trabalhando em velocidades maiores.

- V - Se os tratamentos diferem quanto à mobilização do solo, então a largura do sulco e o empolamento do solo serão maiores para as associações que empregarem o sulcador tipo haste em comparação as com discos duplos, sendo que para ambos sulcadores estas variáveis serão reduzidas quando estes estiverem distantes do mecanismo de corte e trabalhando em velocidades maiores.
- VI - Se os tratamentos diferem quanto à mobilização do solo, então a profundidade do sulco será maior para as associações que empregarem o sulcador tipo haste em comparação as com discos duplos, sendo que para ambos esta variável será reduzida quando estes estiverem mais distantes do disco de corte e este efeito aumentado quando acrescido à velocidade. Quando próximos ao disco de corte, a profundidade será mantida independentemente da velocidade de trabalho.
- VII - Se os tratamentos afetam o esforço tratório, a área de solo mobilizada e a profundidade do sulco conforme as hipóteses I, III e VI, respectivamente, então a resistência específica operacional e a força de tração específica serão maiores quando empregado o sulcador disco duplo, sendo que o acréscimo da distância entre sulcadores e o disco de corte e da velocidade de deslocamento das associações, proporcionarão incremento proporcional a estas variáveis.
- VIII - Se os tratamentos afetam o consumo horário de combustível e a demanda de potência conforme a hipótese II, então o consumo específico de combustível será maior quando empregado o sulcador disco duplo, sendo que o acréscimo da distância entre sulcadores e o disco de corte e a redução da velocidade de deslocamento das associações, proporcionarão incremento proporcional a esta variável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

A área cultivada com o sistema de semeadura direta (SSD) no Brasil apresentou uma excepcional expansão, passando de 180 hectares em 1972 para aproximadamente 32 milhões de ha em 2012 segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015). No mundo, este valor já ultrapassa os 100 milhões de ha de acordo com dados de Derpsch e Friedrich (2009). Crescimento esse impulsionado, principalmente, pela disponibilidade de semeadoras adequadas conforme destaca Casão Junior, Araújo e Llanillo (2012).

Embora a operação executada seja a semeadura, convencionou-se no âmbito da Federação de Associações de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP) que a denominação do sistema em si, seria plantio direto. Segundo Nunes et al. (2014) a expressão plantio direto surgiu em meados de 1980, em função da percepção de que o sistema requeria um conjunto de preceitos mais amplo do que apenas a mobilização localizada do solo e a manutenção de resíduos culturais sobre o solo.

Define-se o sistema como a prática de semeadura ou cultivo de plantas sem o amplo preparo físico do solo, mantendo a palha ou os resíduos culturais da cultura anterior na superfície do mesmo e a realização de rotação de culturas (GASSEN e GASSEN, 1996). Para Silva et al. (2000), a adoção do sistema tem propiciado a utilização sustentável do solo agrícola, evitando principalmente os processos erosivos. Ralisch (2001) complementa ainda que é considerado como uma prática de preparo localizado de solo, no qual apenas os locais onde se deseja implantar a cultura são trabalhados, através da formação dos sulcos de semeadura. Contudo, Delmond (2009) esclarece que estes devem ser apropriados à germinação, emergência e ao desenvolvimento inicial, no qual essa condição vai depender, também, da configuração e regulagem do sulcador nas diferentes condições de umidade, velocidade de trabalho e grau de compactação superficial do solo.

Diversos eventos químicos, biológicos e físicos acabam acontecendo no solo após a implantação dessa técnica, o que resulta em disponibilidades de nutrientes diferenciadas em relação a outros sistemas de cultivo, conforme destaca Almeida et al. (2008) e Esteves e Rosolem (2011), melhorando a estrutura do solo de acordo com Costa et al. (2003) e Bertol et al. (2004).

Com relação aos atributos químicos, Pauletti et al. (2009) destaca que a aplicação de adubo no sulco, sem posterior revolvimento, aumenta a variabilidade horizontal e vertical destas propriedades em função da intensificação da concentração de nutrientes e da presença de matéria orgânica nas camadas superficiais, conforme observado por Holanda et al. (1998), Howard et al. (2002) e Pauletti et al. (2005). Para as propriedades biológicas, Mendes et al. (2003) comprovou que em função do menor revolvimento do solo e dos maiores teores de matéria orgânica no solo em sistemas de semeadura direta, ocorre um aumento da biomassa microbiana e da atividade enzimática.

Com relação aos físicos, encontram-se valores mais elevados de densidade do solo e microporosidade e menores de porosidade total e macroporosidade, quando comparado com o plantio convencional na camada superficial conforme Vieira e Muzilli (1984), Tormena et al. (1998), Beutler et al. (2001), Almeida et al. (2008) e Drescher et al. (2011). Esse fato decorre principalmente do arranjo natural do solo quando não é revolvido e, conforme Streck et al. (2004) e Francetto et al. (2014), da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de água (STONE e SILVEIRA, 2001).

Além disso, Tavares Filho et al. (2001) e Costa et al. (2003) destacam que o sistema age diretamente na melhoria do armazenamento de água no solo, propiciando o desenvolvimento de um microclima com características distintas ao cultivo convencional.

Entretanto, segundo Marcolan (2007) e Rosa (2008), apesar das mudanças positivas nas características físicas, comprovadas por Blainski et al. (2012), e químicas do solo propiciadas pelo sistema, o cultivo continuado pode levar à consolidação natural do solo, fato comprovado por Bertol et al. (2004) e Streck et al. (2004), podendo restringir ao aprofundamento do sistema radicular das culturas. Dessa forma, as raízes concentram-se, principalmente, na camada superficial (BERGAMIN et al., 2010), onde em períodos sem chuva ocorre o déficit hídrico, em virtude da baixa permeabilidade do solo, o que limita a ascensão de água do subsolo para a superfície. Em função disso, diversos autores (ARAUJO et al., 2004; FREDDI et al., 2007; SECCO et al., 2009; CHEN e WEIL, 2011) comentam que se tem verificado uma limitação da produtividade das culturas em virtude da compactação superficial do solo. Flowers e Lal (1998) encontraram significativa redução da produtividade da cultura da soja com o aumento da densidade do solo, concluindo que as plântulas são extremamente sensíveis às condições físicas deste, principalmente durante a fase de germinação.

Os solos que são compactados pelo tráfego de máquinas agrícolas, também se tornam mais sujeitos à erosão causada pelo escoamento das águas superficiais, afetando diretamente o sistema radicular das plantas e conseqüentemente reduzindo a produtividade da cultura em função de que, conforme Taylor e Brar (1991), as raízes respondem naturalmente ao ambiente à qual são submetidas. Por outro lado, Keller et al. (2013) destaca ainda que a compreensão sobre os processos de deformação do solo ainda são limitados.

Para Drescher et al. (2012) a utilização do sulcador tipo haste para aplicação de fertilizante no sulco, associado a um disco de corte dos resíduos culturais em uma operação de semeadura em um latossolo, apresentou potencial mitigador da compactação do solo, promovendo redução da resistência mecânica do solo à penetração, especialmente na camada de 7 a 15 centímetros de profundidade. Esse fato pode ser considerado benéfico, visto que esta camada coincide com aquela de maior restrição ao crescimento radicular em áreas de SSD.

Além disso, Ruedell (1995) explica que o controle das plantas daninhas tem sido o principal impedimento na adoção do sistema de plantio direto, para sua expansão e atualmente para a manutenção do sistema em algumas regiões, comparativamente às questões da mecanização e dos aspectos ligados ao solo.

Dessa forma, a semeadura direta só foi difundida e possibilitada através da geração e aprimoramento de tecnologias que garantiram o desenvolvimento das semeadoras-adubadoras hábeis a exercer sua função, de modo a garantir um estabelecimento adequado das culturas com o mínimo de revolvimento do solo (FRANCETTO et al., 2013).

2.2 SEMEADORAS-ADUBADORAS PARA SEMEADURA DIRETA

As semeadoras-adubadoras são as máquinas agrícolas que sofreram as maiores alterações ao longo do tempo, tendo em vista sua grande importância no sistema de produção agrícola conforme destaca Francetto et al. (2015a), sendo o equipamento de acordo com Boller (1990), depois do trator, de maior importância. Para Santos et al. (2008) é a máquina agrícola mais relevante para o sucesso da semeadura direta. Apesar disso, conforme Silveira (2008) seu desenvolvimento tecnológico foi lento, visto que a sua utilização somente tornou-se vantajosa a partir da verificação da economia dos insumos agrícolas e da regularidade de distribuição destes, o que proporcionou incremento de produtividade das culturas.

Estas máquinas podem ser definidas, conforme Machado et al. (2005), como sendo o equipamento cuja função é colocar no solo os mais variados tipos de sementes seguindo as

recomendações de densidade, profundidade e espaçamento pré-estabelecidas. Já as adubadoras segundo os autores, podem ser definidas como o implemento capaz de distribuir diferentes tipos de produtos (fertilizantes), que podem apresentar diversas constituições. A Figura 1 ilustra a sequência de elementos presentes em uma linha de semeadura.

Figura 1 - Sequência de elementos em uma linha de semeadora-adubadora



A - Disco de corte; B - Sulcador para deposição de adubo tipo haste; C - Sulcador para deposição de semente tipo disco duplo; D - Roda compactadora

Conforme Machado et al. (2005), quando se menciona sobre a realização da operação de semeadura, paralelamente está referida a adubação, tendo em vista que a grande maioria das máquinas atuais são capazes de realizar estas tarefas simultaneamente. Esta situação proporciona uma série de vantagens, dentre elas a economia de tempo e de combustível.

De acordo com Mialhe (2012), as semeadoras mecanizadas de fileiras podem ser classificadas segundo a forma de lançamento das sementes, sendo com linhas individuais (monogrão ou de precisão) ou com linhas múltiplas conjugadas (convencionais ou de filete contínuo). O mesmo autor definiu semeadoras mecanizadas de fileiras com linhas individuais como máquinas cuja função é distribuir as sementes em um sulco, apresentando unidades dosadoras separadas, uma para cada linha. Quando capazes de realizar a dosagem e deposição de sementes uma a uma, em uma densidade de semeadura preestabelecida, são denominadas semeadoras de precisão. Já as de fluxo contínuo em linha são equipamentos que distribuem as sementes no solo de forma contínua, sem que ocorra a individualização das sementes.

Os mecanismos de uma semeadora podem ser agrupados segundo Murray, Tullberg e Basnet (2006), em categorias diferidas entre si em função da tarefa executada, como os componentes de ataque inicial ao solo, de abertura do sulco e controle de profundidade, de dosagem e condução de sementes e fertilizantes. Além disso, um determinado componente pode ser configurado para atingir resultados diferentes ao executar uma função específica.

Gadanha Júnior et al. (1991) afirmam que a semeadora-adubadora para o SSD é constituída de maneira semelhante à semeadora-adubadora convencional, tanto a de precisão como a de fluxo contínuo, mas possuem algumas modificações que permitem seu uso em solos não preparados e com presença de cobertura vegetal. De acordo com esses autores, uma modificação interessante é a introdução de um sistema de corte, colocado à frente dos mecanismos de relação solo/máquina da semeadora, que realiza o corte da cobertura vegetal facilitando a ação do mesmo ou funcionando como o próprio.

As semeadoras-adubadoras contam com mecanismos sulcadores responsáveis pela abertura do sulco para a posterior deposição de sementes e adubos. Os principais tipos utilizados para tal finalidade são o facão, sapata, discos e guilhotina, conforme Machado et al. (2005). Já Dias (2009), classifica os sulcadores de fertilizante como componentes de ataque ao solo juntamente com o disco de corte de palha.

Siqueira (2009) esclarece que problemas, quanto ao desempenho e alta resistência à penetração no solo pelos componentes rompedores, têm exigido constante adaptação das máquinas à realidade regional, principalmente, conforme Casão Júnior et al. (1998), em solos com altos teores de argila associada à grande retenção de água. Os mesmos autores explicam ainda, que, como consequência, ocorrerá um corte irregular da vegetação, embuchamentos, inapropriada abertura do sulco, aderência do solo aos componentes, profundidade de semeadura desuniforme, cobertura e contato inadequado do solo com as sementes. Assim, cuidados com regulagens, corte das coberturas e retorno do solo e da palha após abertura do sulco de semeadura tornam-se importantes.

2.3 MECANISMOS DE CORTE DOS RESÍDUOS CULTURAIS

São elementos rompedores que geralmente são empregados em frente a outros mecanismos, com a finalidade de gerar um pequeno sulco, possibilitando que a ferramenta subsequente realize sua função com menor esforço e/ou maior eficiência (PORTELLA, 1983). Além disso, Dickey e Jasa (1983) comentam que presença abundante de resíduos culturais, ou quando estes estão distribuídos desigualmente sobre o solo, requer a presença de discos de corte em frente aos sulcadores. Dessa forma, os discos foram também projetados para cortar a palha, não devendo aprofundar mais do que seis centímetros segundo Casão Júnior (2008).

Considerando que as condições para o desenvolvimento das culturas dependem de vários fatores, Santos et al. (2010) comentam que o projeto de mecanismos de corte não pode

ser restrito a uma única configuração. Estes devem ser escolhidos em função do tipo de resíduo presente, estarem afiados adequadamente e regulados, tanto na profundidade quanto na pressão das molas, a fim de garantir uma adequada eficiência de corte (SIQUEIRA e CASÃO JÚNIOR, 2004). Este desempenho, segundo Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986), é muito influenciado pelo grau de compactação do solo, tipo de borda e velocidade de rotação, sendo esta última relacionada diretamente com a velocidade de trabalho da operação. Assim sendo, segundo Francetto et al. (2015b) os discos de corte são encontrados em diferentes diâmetros e formatos, de forma que tais variações possam suprir estas demandas específicas, promovendo o cisalhamento dos resíduos e a abertura de uma pequena fissura no solo com distinta eficiência e variações na qualidade da operação. Conforme Dickey e Jasa (1983) existem basicamente quatro tipos de bordas: lisa, estriada, estriada com borda lisa e ondulada.

Em um estudo sobre semeadoras-adubadoras comercializadas no Brasil, Silva (2003a), evidenciou a presença de cinco tipos de discos conforme ilustrado na Figura 2 (liso, ondulado, corrugado, estriado, recortado), sendo que o liso representou 94,20% dos mecanismos empregados. Além disso, as máquinas apresentaram seis diferentes diâmetros de discos utilizados, de 0,3556 a 0,5080 m, estando presente em maior significância os de 0,4572 m, correspondendo a 34,10% dos modelos.

Figura 2 - Discos de corte de resíduos culturais



Conforme Faganello, Kochhann e Portella (1992), discos planos e afiados cortam mais eficientemente os restos culturais e requerem menor massa da semeadora para penetração no solo, em comparação aos discos ondulados. Contudo, estes últimos apresentam menor tendência de deslizamentos por possuírem uma maior superfície específica de contato com o solo. Além disso, segundo Weed (1981) estes têm minimizado os problemas de espelhamento nas paredes laterais do sulco e de perda de umidade do solo na linha de semeadura, o que pode estar relacionado à menor elevação do solo proporcionada por este mecanismo em comparação ao liso conforme evidenciou Francetto et al. (2015b).

2.4 MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO DE FERTILIZANTE

Dentre os componentes das semeadoras-adubadoras que apresentam uma ampla diversidade de opções, as quais causam diferentes efeitos no solo e têm revelado potencial de adequação, destacam-se os mecanismos sulcadores, responsáveis pela abertura do sulco para a posterior deposição de fertilizantes e sementes. Estes mecanismos são os dispositivos mecânicos que melhor estabelecem a relação entre o solo e a máquina (BERTOL, 1997), sendo considerados por Coelho (1998) os elementos mais importantes das semeadoras para o sistema de semeadura direta. Os principais modelos citados por Machado et al. (2005) são o facão e os discos duplos (Figura 3). Dentre esses, empregados na deposição de adubo, Levien (1999) destaca que as combinações mais usadas no Brasil são os sulcadores discos duplos desencontrados e defasados (órgão ativo rotativo) e as hastes sulcadoras (órgão ativo fixo).

Figura 3 - Semeadoras equipadas com diferentes mecanismos sulcadores



Semeadora equipada com sulcador disco duplo

Semeadora equipada com sulcador haste

Fonte: CASE IH, 2015.

Segundo Silva, Kluthcouski e Silveira (2000) dentre os processos utilizados para se fazer a adubação, o método de aplicação em sulcos é o mais utilizado. Muitas semeadoras-adubadoras fazem a distribuição do fertilizante na superfície do solo, em mistura com as sementes, o que acarreta em danos à germinação (dependendo da cultura), como também, estimula o desenvolvimento superficial das raízes. Nessa situação, as plantas apresentam baixo volume radicular, além de ser superficial, acarretando pouca capacidade de explorar a fertilidade natural do solo e podem sofrer perdas de produtividade quando ocorre estiagem.

Dessa forma, segundo Yao et al. (2009), Arf et al. (2008), Klein e Boller (1995) e Andreolla (2005), os diferentes mecanismos influenciam o rendimento das culturas, em função de que, conforme Reis et al. (2004), o microambiente próximo à semente é interferido diretamente pelo tipo de mecanismo de abertura de sulco e, segundo Vameralli, Bertocco e Sartori (2006), estes modificam as propriedades físicas do solo.

Altikat, Celik e Gozubuyuk (2013), avaliando o efeito de diferentes sulcadores no desempenho de semeadura e emergência das sementes, afirmaram que abridores fixos apresentam melhores resultados. Entretanto, Du, Bekele e Morrison Junior (2004), destacam que novas investigações a respeito dessas interações ainda são necessárias.

Conforme Portella et al. (1997) a crescente ampliação no número de pesquisas destinadas a avaliar o emprego de mecanismos de abertura de sulco são fundamentais para o aperfeiçoamento destes mecanismos, pois as respostas destes são variadas em função da região e época de semeadura, teor de água e tipo de solo, além da cultura empregada.

Conforme a American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2006), esses mecanismos podem ser combinados em função do tipo e preparo de solo, teor de água, grau de compactação, profundidade de semeadura, velocidade de deslocamento e mobilização desejada, em vista de que, conforme Tsegaye e Mullins (1994) devem propiciar o contato solo/semente adequado. Como resultado, um dos problemas encontrados no sistema de semeadura direta é a seleção das ferramentas de abertura de sulco, em função do grande número de fatores que interferem no desempenho das semeadoras, da complexidade de suas interações, havendo a necessidade de estudos mais específicos visando identificar as demandas energéticas dos diversos componentes (SIQUEIRA et al., 2001) e ainda, segundo Karayel e Sarauskis (2011), das condições de solo impostas.

2.4.1 Abridores de sulco com órgão ativo fixo

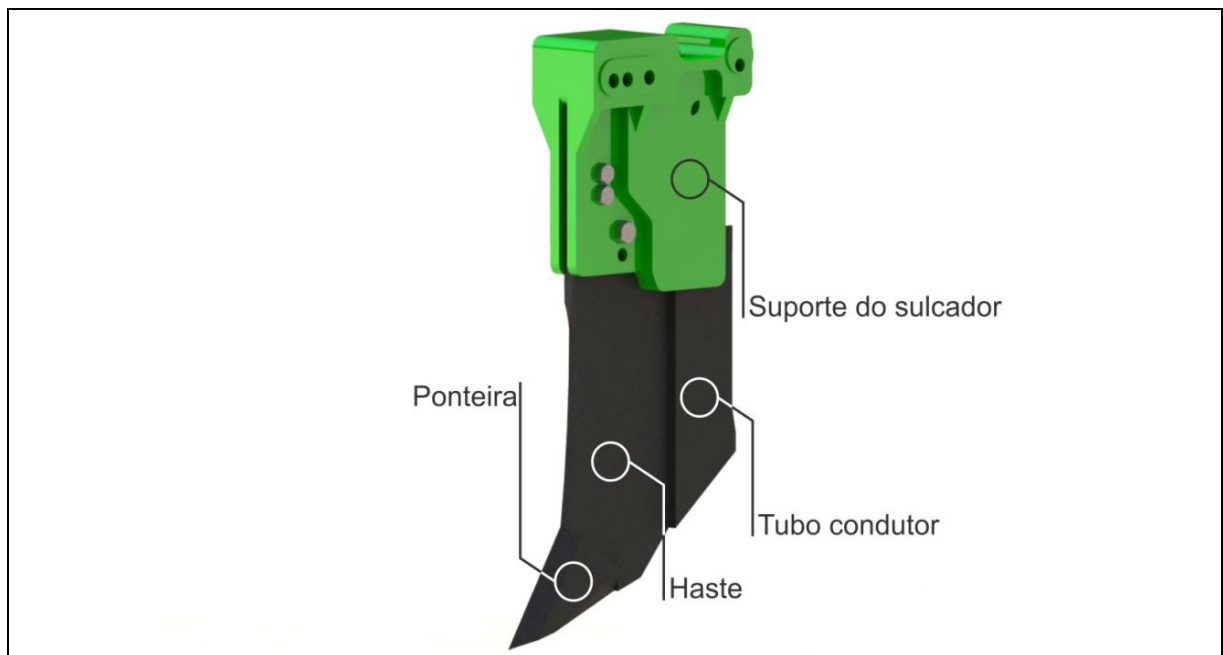
Com a consolidação do sistema de semeadura direta, problemas relacionados à compactação das camadas superficiais do solo, em função do tráfego de máquinas e da consorciação lavoura-pecuária, têm dificultado o processo de formação dos sulcos. Dessa forma, buscando alternativas que substituam o uso de equipamentos que promovem elevada mobilização do solo, como escarificadores e/ou subsoladores que requerem elevadas demandas energéticas, faz-se necessário o emprego de ferramentas que possam atuar em maiores profundidades no momento da semeadura (SECCO et al., 2004). Essas, associadas a discos de corte, são mais efetivas na redução da densidade e da microporosidade do solo, além

de possibilitar o aumento da macroporosidade, de acordo com Drescher et al. (2011) comparando o efeito das intervenções mecânicas entre esses implementos e esses mecanismos em um Latossolo Vermelho Distrófico. Fato comprovado por Altikat e Celik (2012), que, avaliando semeadoras equipadas com diferentes mecanismos sulcadores, concluíram que a utilização de haste propiciou melhores condições físicas ao solo.

Dessa forma, a principal função do sulcador fixo (SF) no sistema de semeadura direta, deve ser a descompactação ou mobilização do solo em subsuperfície, em profundidade e extensão estipuladas tecnicamente (CEPIK, TREIN e LEVIEN, 2005). Além disso, Conte (2011) complementa que o uso de hastes tem o intuito de ampliar a área mobilizada e, conseqüentemente, o volume mobilizado na linha de semeadura, justamente para amenizar problemas de compactação ou condição inadequada da estrutura física do solo.

As hastes são utilizadas em praticamente 80% das semeadoras em operação no Brasil (CEPIK, 2002), sendo que também são chamadas popularmente de “facas” ou “facões”. Estas são ferramentas planas, com superfícies de formatos variados (reto, inclinado ou parabólico), possuindo, na extremidade, ponteiros, geralmente em forma de "cunha", cuja função é cortar e penetrar o solo e possuindo, na sua parte posterior, tubos condutores, geralmente de fertilizante, que são depositados a maiores profundidades que as sementes (Figura 4).

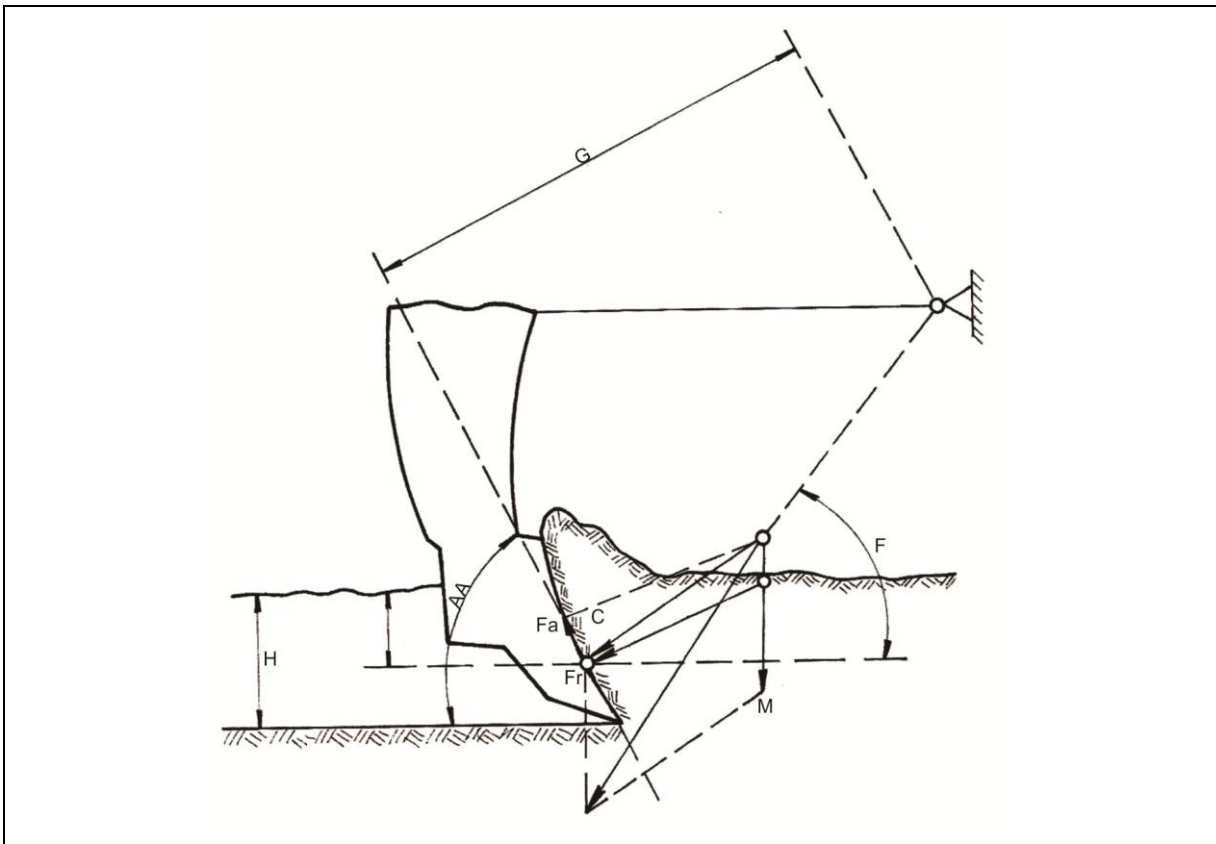
Figura 4 - Sulcador com órgão ativo fixo



As hastes apresentam maiores capacidades de penetração e maior variabilidade da profundidade dos sulcos em relação aos discos duplos. No entanto, necessitam da colocação de um disco de corte frontal para um desempenho satisfatório, a fim de que não ocorra um acúmulo do material vegetal (“embuchamentos”) a frente das hastes (SIQUEIRA, 2009). Além disso, a ponteira por representar a parte ativa, constitui-se no principal elemento de mobilização e, por conseguinte, responsável pela formação do sulco (SANTO, 2005).

Na Figura 5, são mostradas as principais forças que atuam nesse tipo de mecanismo.

Figura 5 - Principais forças que atuam nas hastes sulcadoras



Fonte: Adaptado de Mialhe, 2012.

Conforme Mialhe (2012) o ângulo de ataque (AA), posicionado entre a linha horizontal de deslocamento do centro de resistência e a tangente à curvatura frontal da ponteira, situa-se com uma inclinação de 20 a 30 graus. Outrossim, no centro de resistência atuam as forças de reação do solo (F_r) e a força de atrito (F_a) entre o solo e o mecanismo, fatores esses que associados à massa do conjunto (M), interferem no ângulo F , que depende do comprimento (G) e da profundidade de trabalho (H). A manutenção deste ângulo é de fundamental importância para preservar a estabilidade do conjunto. Dessa forma, a fim de

buscar-se esta estabilização, faz-se necessário manter a mesma profundidade de trabalho, visto que esta tem interferência direta no desempenho da semeadora.

2.4.2 Abridores de sulco com órgão ativo rotativo

Sulcadores rotativos (SR) são os que melhor se adaptam às condições de solo mais difíceis, na qual existam raízes, pedras e restos de vegetais, em função de que, em vez de deslizarem sobre o solo, eles giram (BALASTREIRE, 2005). Além disso, segundo Machado et al. (2005), em comparação a sulcadores fixos, realizam um melhor trabalho de abertura do sulco e, de acordo com Chaudhuri (2001), apresentam menores variações na profundidade de trabalho. Contudo, conforme Fernandes et al. (2005), são os mecanismos que, comparativamente às hastes, causam maior valor de densidade média e máxima do solo na região da semente, dificultando a passagem da água. Além disso, de acordo com Seidi (2012), possuem algumas limitações, tais como dificuldade de penetração no solo, pressionar resíduos que estão sobre o solo para dentro do sulco e mistura de sementes e fertilizante no sulco.

Estes podem ser de diferentes tipos, com discos de diâmetro igual, centrados ou desencontrados (Figura 6), e com discos de diâmetro diferente, defasados (SILVA, 2004), sendo que as relações dimensionais básicas desses órgãos ativos estão ilustradas na Figura 7.

Figura 6 - Sulcador com órgãos ativos rotativos de diâmetros iguais

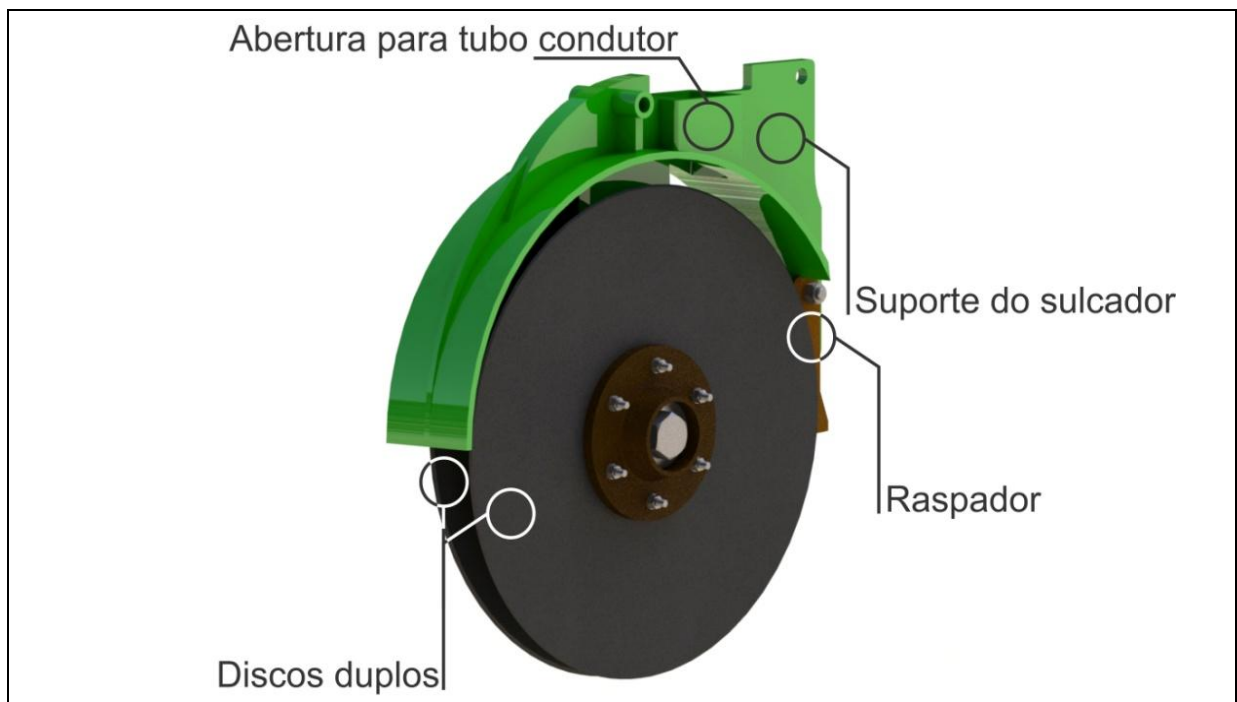
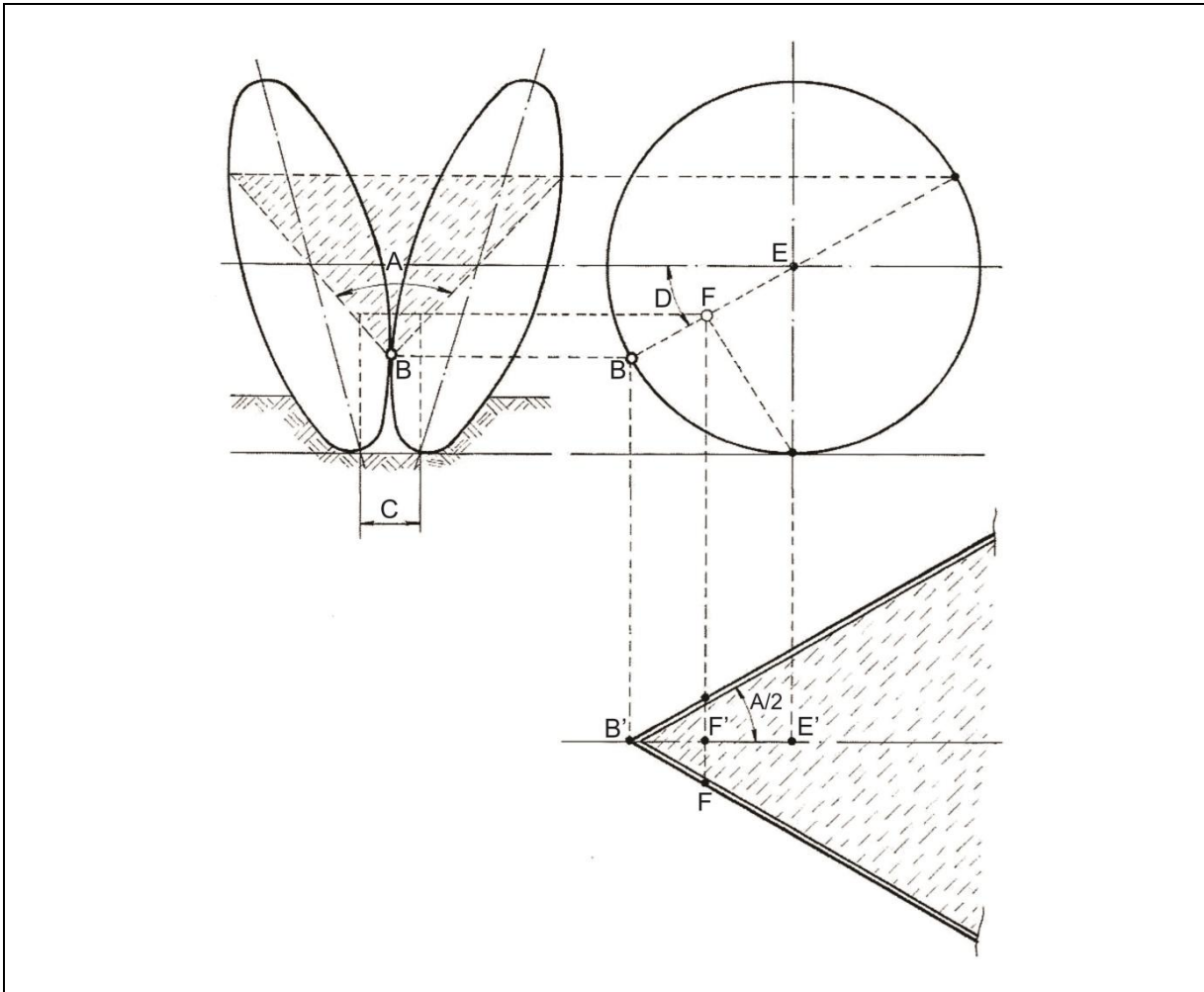


Figura 7 - Relações dimensionais básicas dos discos duplos



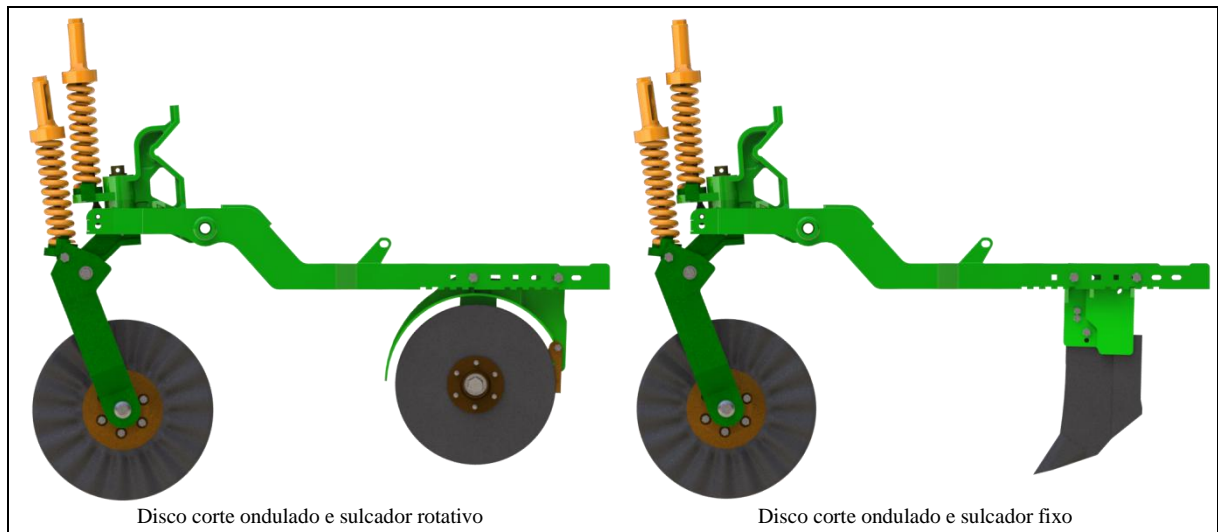
Fonte: Adaptado de Mialhe, 2012.

Os discos são posicionados para que formem um pequeno ângulo (A) e suas extremidades toquem em um determinado ponto (B). A altura desse ponto de contato é importantíssima para um adequado funcionamento do sistema, em virtude de que esse interfere diretamente na largura do sulco (C). Além disso, ao analisarmos o ângulo D , gerado entre o ponto de contato e o raio do disco (eixo EF), verifica-se também a sua intervenção nas dimensões do sulco, mas de forma inversamente proporcional. Assim sendo, o aumento de A proporciona sulcos mais largos, enquanto que o acréscimo de B , gera sulcos mais estreitos. As dimensões mais comuns desses órgãos ativos, quanto a esses atributos, são: $A = 9$ à 12° e $B = 30$ à 40° (MIALHE, 2012).

2.5 ASSOCIAÇÕES ENTRE MECANISMOS DE CORTE E ABERTURA DE SULCO

A Figura 8 ilustra uma associação entre disco de corte dos resíduos culturais e diferentes abridores de sulco para posterior deposição de fertilizante (disco duplo e haste sulcadora).

Figura 8 - Associação entre mecanismos de abertura de sulco e de corte

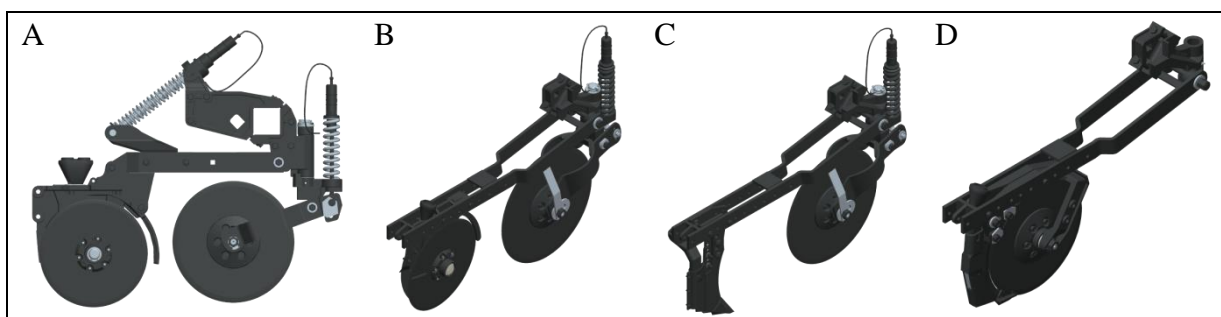


Com relação à associação entre o disco de corte e abridores fixos, Mialhe (2012) destaca que esses devem estar suficientemente próximos, a fim de evitar possíveis "embuchamentos" de resíduos, ocasionando, segundo Siqueira (2009), paradas constantes da máquina e, por fim, reduzindo o desempenho operacional. Dessa forma, também podem implicar em maior infestação do terreno por plantas daninhas, problemas na deposição de fertilizante e sementes, além de falhas na cobertura das sementes.

Além disso, ao avaliar o desempenho de três distintas semeadoras-adubadoras equipadas com diferentes mecanismos de corte e sulcadores de fertilizante (Semeadora 1: disco de corte liso e sulcador disco duplo; Semeadora 2: sulcador disco duplo para corte de palha e formação do sulco; Semeadora 3: disco de corte liso e sulcador haste), Santos, Volpato e Tourino (2008) observaram que a máquina composta pelo sulcador haste, estando este mais próximo ao disco de corte em comparação ao sistema semelhante empregado nas demais, proporcionou uma menor demanda de força de tração, potência, consumo de combustível e patinamento.

Em uma avaliação dimensional de diferentes modelos e marcas de semeadoras-adubadoras para SSD no Brasil, Francetto et al. (2014) evidenciou que a distância longitudinal média empregada entre o mecanismo de corte de resíduos culturais e o sulcador de fertilizante (centro a centro dos mecanismos) foi de 0,57 metros. Além disso, foi encontrada uma amplitude de 1,10 m entre estes mecanismos nos 14 modelos analisados (10 fabricantes), com configurações de sulcadores adjacentes ao disco de corte e outras afastadas em mais de um metro do mesmo. Isso comprova a grande diversidade de opções disponíveis no mercado brasileiro, sendo as principais configurações ilustradas na Figura 9.

Figura 9 - Diferentes distanciamentos longitudinais entre discos de corte e sulcadores



Fonte: Adaptado de Semeato, 2016.

A: Sulcador disco duplo próximo ao disco de corte ("Triplo disco"); B: Sulcador disco duplo afastado do disco de corte ("Triplo disco"); C: Haste sulcadora afastada do disco corte ("Facão afastado"); D: Haste sulcadora próxima ao disco de corte ("Facão guilhotina").

Especificamente, com relação a disco de corte e abridores rotativos, esses devem ser montados em um sistema articulado que possibilite que a massa da semeadora se aplique preferencialmente sobre o disco de corte (MIALHE, 2012).

Além disso, avaliando as interações máquina-solo-planta na semeadura de milho, em um Latossolo Vermelho, por três diferentes semeadoras, Santos, Tourino e Volpato (2008), demonstraram que a troca do sulcador de discos duplos defasados, destinado ao corte de palha e abertura de sulco, por um disco liso, para cisalhamento dos resíduos culturais, e uma haste sulcadora, para a abertura do sulco, promoveu uma melhora significativa no desempenho da semeadora no que se refere à distribuição de sementes.

Em uma avaliação da demanda de tração por profundidade de trabalho (demanda de tração específica) de diferentes associações entre discos de corte e sulcadores, Francetto et al. (2015b) identificou que o emprego do mecanismo de corte, quando associados ao disco duplo, proporcionou uma maior amplitude e maior influência proporcional da velocidade de trabalho sobre a demanda de tração específica, sendo que este mecanismo trabalhou melhor quando

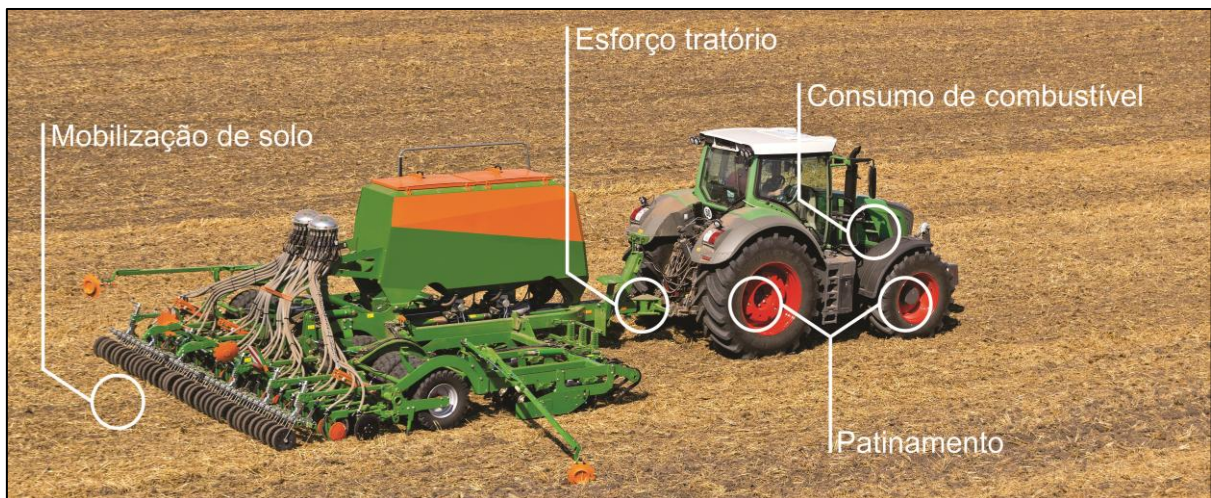
associado a um disco de corte com borda ondulada. Em contrapartida, a haste sulcadora apresentou comportamento inverso, demonstrando menor amplitude e menor influência da velocidade sobre esta variável de desempenho, trabalhando melhor com o disco de corte liso.

2.6 VARIÁVEIS DE DESEMPENHO OPERACIONAL

Conforme Alongo et al. (2006) os usuários de máquinas agrícolas enfrentam uma série de decisões relacionadas as exigências no momento da seleção, aquisição, operação e manutenção destas, o que configura a necessidade de informações credíveis para a tomada de decisão, que podem ser oriundas de ensaios, testes, avaliações e/ou experimentações.

Dessa forma, a ponderação do desempenho dos sulcadores de semeadoras tem por finalidade intrínseca a análise da habilidade do conjunto motomecanizado¹ em executar a operação e a estimativa das mudanças ocorridas no solo, resultantes da aplicação de forças pelos órgãos ativos, sendo necessário mensurar alterações qualitativas, quantitativas e a eficiência operacional (Figura 10).

Figura 10 - Variáveis de mensuração do desempenho operacional dos mecanismos



As duas primeiras são relativas às condições de mobilização do solo, principalmente a verificação do estado final, após a passagem da ferramenta, e a massa e volume de solo mobilizado. Além disso, a estimativa do custo energético da operação também é de suma importância, visto que determinadas ferramentas podem fornecer as melhores condições finais

¹ Denomina-se sistema motomecanizado agrícola um conjunto de tratores, máquinas e implementos cuja atividade, técnica e economicamente organizada, visa à prestação de serviços (MIALHE, 1974).

à sementeira, mas apresentarem grande gasto energético. Dessa forma, a identificação do consumo de combustível, do patinamento dos rodados motrizes e, principalmente, do esforço tratório, fazem-se necessários para ponderar o dispêndio de energia ocorrido no processo (MIALHE, 1996). Por outro lado, a identificação isolada destas variáveis nem sempre propicia o entendimento adequado sobre o desempenho dos sulcadores, sendo necessário identificar suas respectivas correlações. Para isso, analisasse a força de tração específica (força de tração/profundidade) e a resistência específica operacional (força de tração/área mobilizada), que são muito mais significativas como indicadores da eficiência do processo de formação de sulco.

2.6.1 Esforço tratório

A força de tração, força horizontal ou esforço tratório pode ser definida como a quantidade de força necessária para puxar ou empurrar uma determinada ferramenta, sendo ela horizontal, paralela a superfície do solo e coincidente com a direção do deslocamento do conjunto. É oriunda do equilíbrio de um conjunto de forças de reação, que são originadas da resistência do solo e de momentos que atuam no chassi da máquina/implemento. Para aferição desta variável, é realizado o somatório dos valores da força de tração instantânea medida, subtraída a resistência ao rolamento requerida para o deslocamento de todo o conjunto mecânico (Equação 1), ao longo de um percurso preestabelecido.

$$F_{tr} = \left(\sum \frac{F_i}{n} - \sum \frac{R_r}{n} \right) \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Onde:

F_{tr} = Força de tração (kN)

F_i = Força de tração instantânea (kN)

R_r = Resistência ao rolamento (kN)

n = Número de dados coletados

dv = Em função da velocidade de deslocamento

dt = Em função do tempo do percurso

Outrossim, a potência demandada pode ser definida como a capacidade que o motor da máquina motora do conjunto possui em realizar um trabalho por unidade de tempo, ou seja, é

a quantidade de energia fornecida por este a cada unidade de tempo em função do requerimento da ferramenta. Logo, é estimada com base no conhecimento prévio da força de tração e da velocidade do conjunto (Equação 2).

$$P_b = F_{tr} \frac{dd}{dt} = F_t \times V \quad (2)$$

Onde:

P_b = Potência demanda na barra de tração (kW)

F_{tr} = Força de tração (kN)

V = Velocidade média de deslocamento ($m s^{-1}$)

dd = Em função de uma distância

dt = Em função do tempo do percurso

Os requerimentos de energia das operações de preparo de solo são dependentes do tipo de solo e do manejo que ele sofreu anteriormente. Além disso, Andreolla e Gabriel Filho (2006), Mak, Chen e Sadek (2012) e Francetto et al. (2015b), concluíram que a força de tração também é influenciada pelo tipo de mecanismo sulcador empregado na semeadora, assim como, as condições físicas do solo como afirma Conte et al. (2011) e Seidi (2012) e pela profundidade de trabalho (CHEN, MUNKHOLM e NYORD, 2013a). Fatores estes muito importantes principalmente com a utilização do sistema de semeadura direta segundo Altikat, Celik e Gozubuyuk (2013), sendo que, conforme Francetto (2014) são estes que determinam a escolha das associações entre mecanismos de corte dos resíduos culturais e de abertura do sulco. Dessa forma, para Chen, Munkholm e Nyord (2013b) a compreensão do comportamento destas ferramentas é de extrema importância para o desenvolvimento de mecanismos de alto desempenho.

Conforme a American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2006), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, varia de 900 Newton (N) \pm 25% por linha (somente semeadura) e de 3.400 N \pm 35% por linha (semeadura, adubação e herbicida). Maiores esforços esses ocorrem devido a maior profundidade de atuação e a presença dos discos de corte de resíduos e dos elementos rompedores do solo.

Conforme Andreolla e Gabriel Filho (2006), analisando a demanda de tração de uma semeadora equipada com diferentes elementos rompedores, evidenciou que os discos duplos,

com 6,22 kN (0,69 kN linha⁻¹), requerem menor força em comparação com as hastes, com 27,06 kN (3,01 kN linha⁻¹). Ademais, a potência solicitada na barra, também foi maior para as hastes, representando 31,83 kW (3,54 kW linha⁻¹), enquanto que para os discos, esta demanda foi de 8,02 kW (0,90 kW linha⁻¹). Levien et al. (2011), também concluiu que a abertura de sulcos através da utilização de hastes aumenta as exigências de força de tração em relação ao sistema de abertura de sulcos do tipo disco duplo.

Avaliando mecanismos de corte de palha, Silva et al. (2012) e Francetto et al. (2015b) evidenciaram que discos ondulados necessitam maior força horizontal para vencer a resistência do solo em comparação ao disco liso, possivelmente em virtude do desenho do disco e por sua ação dinâmica no solo e área de contato, ser diferentes. Além disso, Germino e Benez (2006) concluíram que a presença de disco não modifica as exigências de tração por hastes sulcadoras, sendo de 0,77 kN para situações com disco e 0,78 kN para as condições sem o mecanismo. Contudo, os autores encontraram elevado coeficiente de variação no experimento (10,16%), o que pode ter contribuído para a não significância já que segundo Francetto et al. (2015b), o emprego de discos de corte propicia aumento na demanda de tração.

Silveira et al. (2011) avaliando o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura do solo e em função da velocidade de deslocamento, observaram que o aumento desta proporcionou uma redução da força de tração. Por outro lado, Siqueira et al. (2001), trabalhando com velocidades de 1,31 e 2,31 m s⁻¹ na semeadura de soja, evidenciaram que a força de tração aumenta de forma significativa com o incremento da velocidade. Esses contrastes corroboram a necessidades de estudos sobre o desempenho de associações de mecanismos da relação solo/máquina como afirmam Portella et al. (1997) e Du, Bekele e Morrison Junior (2004).

Logo, tendo em vista que o uso de máquinas implica em grande parte dos custos totais de produção, devem-se procurar alternativas que proporcionem a otimização do uso ligado à ampliação da vida útil, na busca pela melhoria do aproveitamento dos recursos produtivos e, conseqüentemente, redução dos custos da atividade (FRANCETTO et al., 2016a).

2.6.2 Consumo de combustível

A quantidade de combustível consumida por um motor pode ser expressa de duas formas, em relação ao tempo e ao trabalho mecânico. O primeiro é designado de consumo horário, adquirido pela razão entre o volume de combustível consumido por unidade de tempo

(Equação 3), enquanto que o segundo é denominado consumo específico, o qual é adquirido pelo quociente entre o produto da densidade do combustível e o do consumo horário pela potência demandada na barra de tração (Equação 4). Dessa forma, por considerar a massa do combustível e a potência requerida, demonstrando a eficiência térmica do motor em transformar o combustível em trabalho, pode ser empregado para realizar comparações entre diferentes equipamentos.

$$Ch = \frac{dv}{dt} = \frac{Vo}{t} \quad (3)$$

Onde:

Ch = Consumo horário ($l h^{-1}$)

dv = Em função da velocidade de deslocamento

dt = Em função do tempo do percurso

Vo = Volume de combustível consumido (l)

t = Tempo gasto (h)

$$Ce = \frac{d \times Vo}{Pb \times t} = \frac{(d \times Ch)}{Pb} \quad (4)$$

Onde:

Ce = Consumo específico ($g kWh^{-1}$)

d = Densidade do combustível ($g l^{-1}$)

Vo = Volume de combustível consumido (l)

Pb = Potência demanda na barra de tração (kW)

t = Tempo gasto (h)

Ch = Consumo horário ($l h^{-1}$)

O uso de diferentes mecanismos proporcionam variações no consumo horário de combustível, conforme observado por Levien et al. (2011). Os autores concluíram que o gasto horário foi significativamente maior quando a semeadora foi equipada com haste do que quando se utilizou o discos duplos, sendo de $11,34 l h^{-1}$ para a primeira e $9,87 l h^{-1}$ para a segunda. Mahl, Gamero e Benez (2007), avaliando a demanda energética de uma semeadora-adubadora em função do tipo de sulcador, também observaram que, independentemente do

tipo de solo, a semeadora, quando equipada com discos duplos desencontrados, consumiu menos, sendo de 13,21 l h⁻¹ para o solo arenoso e 12,25 l h⁻¹ para solo argiloso. Quando provida com hastes, o consumo foi de 14,54 l h⁻¹ e 12,53 l h⁻¹ para os respectivos solos. Já para Francetto et al. (2015b) o uso do sulcador fixo também proporciona incremento da demanda de combustível quando comparado com o discos duplos, mas este incremento pode ser reduzido através da associação com um disco de corte, independentemente do tipo de borda, o que não é verificado para as interações com o sulcador rotativo.

Analisando os dados obtidos por Russini et al. (2010), identifica-se uma relação diretamente proporcional entre o consumo de combustível e a força de tração de uma semeadora-adubadora equipada com hastes para deposição de fertilizante. Os autores encontraram um aumento de 7,47 l h⁻¹ para 14,06 l h⁻¹ no consumo médio enquanto que, na primeira, a força de tração média foi de 9,27 kN e, para a segunda, foi de 11, 52 kN. Tal situação é comprovada por Toledo et al. (2010) que identificou correlação positiva, ou seja, proporcional entre o consumo de combustível e a demanda de tração de um conjunto trator/semeadora.

Segundo Masiero et al. (2010), Serrano et al. (2009) e Spagnolo (2012), o consumo de combustível é influenciado pela pressão interna do pneu do trator. Dessa forma, faz-se necessário uma correta e adequada manutenção a fim de bloquear o efeito dessa variável no desempenho da máquina.

2.6.3 Mobilização do solo

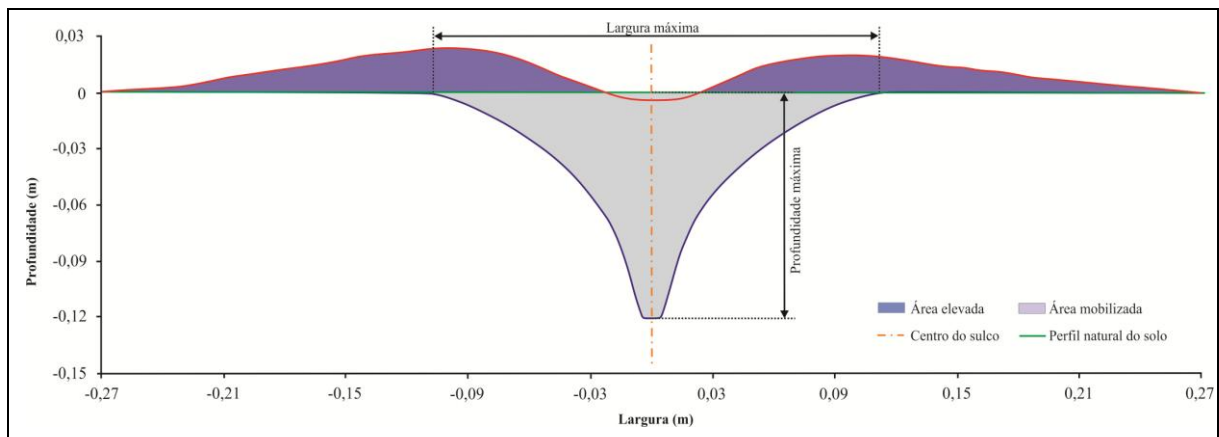
Para se determinar a eficiência de ferramentas em uma operação de mobilização de solo, Arvidsson e Hillerström et al. (2010) destacam que a mensuração da demanda de energia deve ser comparada com o resultado da ação destes mecanismos sobre o solo, sendo que isso tem sido menos realizado em comparação as medições de demanda energética apenas.

A penetração e deslocamento de uma ferramenta no solo é uma ação que pode ser descrita por um comportamento composto, desde que o solo normalmente rompe-se por alguma combinação de corte, cisalhamento, compactação e fluxo, à medida que o equipamento é forçado dentro do solo (Portella, 1983).

Os fenômenos decorrentes da atuação das ferramentas de solo podem ser decompostos em duas ações: o deslocamento vertical do perfil do solo e a sua área mobilizada, devendo ser realizados levantamentos de três perfis: o da superfície natural, da superfície de elevação e o perfil interno do solo mobilizado. A área de solo mobilizada consiste na área situada entre o

perfil natural e o de fundo de sulco, enquanto a área de elevação é aquela situada entre o perfil original e o da superfície do solo após a mobilização (Figura 11). A avaliação da área entre os perfis pode ser determinada por meio de representações gráficas, estudando-se as diferentes representações de suas áreas, utilizando-se de técnicas de planimetria e/ou programas computacionais, como preconizado por Conte et al. (2009), Santos et al. (2010), Hasimu e Chen (2014) e Francetto (2014).

Figura 11 - Indicativo gráfico da área de solo elevado e mobilizado



Outra característica importante resultado da área de elevação é o empolamento, o qual representa o aumento do volume do solo após a passagem da ferramenta (BRANDELERO et al., 2014), em virtude do aumento do índice de vazios entre as partículas sólidas.

A mobilização do solo depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da ferramenta como afirmam Spoor e Godwin (1978) e Chen, Munkholm e Nyord (2013a), além da umidade e da densidade do solo. Ação essa que, segundo Collares et al. (2006) e Mazurana et al. (2011), acarreta na redução da densidade do solo e resistência mecânica, além do aumento da macroporosidade (Marcolan et al., 2007; Rosa et al., 2008; Nunes et al., 2015), que proporciona diminuição da densidade crítica do solo segundo Logsdon e Karlen (2004), condições primordiais ao bom desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas conforme evidenciado por Debiasi et al. (2010). Veiga et al. (2007) explica ainda, que a mobilização na linha de semeadura diminui a resistência do solo à penetração em até doze centímetros com a utilização da haste sulcadora, sendo que a formação de camadas compactadas com resistência superior à capacidade de penetração da raiz no solo não ocorre.

Segundo Jin et al. (2012) e Brandelero et al. (2014), os diferentes mecanismos sulcadores interferem diretamente na qualidade da semeadura, visto que estes apresentam diferentes comportamentos e propiciam distintas condições. Para caracterizar o desempenho das ferramentas de abertura de sulco das semeadoras, Mion e Benez (2008) e Levien et al. (2011), avaliando a mobilização promovida por diferentes ferramentas rompedoras, evidenciaram que as hastes mobilizam mais o solo em comparação aos discos duplos. Modolo et al. (2012) também confirmou que as hastes movimentam mais o solo que os discos, encontrando valores de 0,0045 m² para as primeiras e 0,0037 m² para os órgãos ativos rotativos. Além disso, Casão Júnior et al. (2000) afirmam que as hastes reduzem a cobertura vegetal sobre o sulco, embora este efeito possa ser também associado à velocidade, o que também reflete-se em outros tipos de sulcadores, como explica Celik e Altikat (2012). Do mesmo modo, segundo Silva et al. (2001) a mobilização efetuada por hastes apresenta menor número de sementes expostas na superfície.

Os discos de corte também promovem efeitos diferenciados, sendo que conforme Silva et al. (2012) os ondulados e lisos geralmente aumentam a mobilização do solo do leito de semeadura, sendo que o efeito do primeiro é mais significativo. Mion et al. (2009), corroboraram essa afirmativa, pois encontraram diferenças significativas na movimentação do solo por esses mecanismos, com valores de 0,0015 m² para os discos lisos e 0,0041 m² para os discos ondulados. Já Simon et al. (2008), analisando também diferentes discos de corte, não encontrou diferença estatística na mobilização. Ambos trabalhando apenas com discos, não utilizando estes associados com outros mecanismos.

Siqueira (2009) cita que, na semeadura com hastes, em função da maior profundidade de trabalho, os efeitos da deficiência de água para germinação e emergência de plantas são menores durante veranicos, onde lavouras semeadas de hastes sulcadoras apresentam emergência de plantas superior à semeadura com discos duplos. Além disso, Tessier et al. (1991), concluiu que as hastes possuem a capacidade de trazer o solo mais úmido do fundo do sulco para a proximidade da semente. Assim, a implantação de uma lavoura com semeadora de discos duplos apresenta muitos riscos nos solos com textura muito argilosa, pois, devido à grande resistência desses solos, os discos não conseguem aprofundar adequadamente e as sementes são depositadas a menores profundidades e muito próximas do fertilizante. Além disso, os discos apresentam maiores exigências de manutenção e possuem custos mais elevados.

Em contra partida a essas ações promovidas por mecanismos de abertura de sulco e corte de resíduos, Mouazen e Neményi (1999) explicam que a mobilização contribui

consideravelmente com os custos de produção de uma lavoura. Por isso, faz-se necessário aperfeiçoar os projetos, no sentido de reduzir seu consumo de energia e desgaste dos equipamentos.

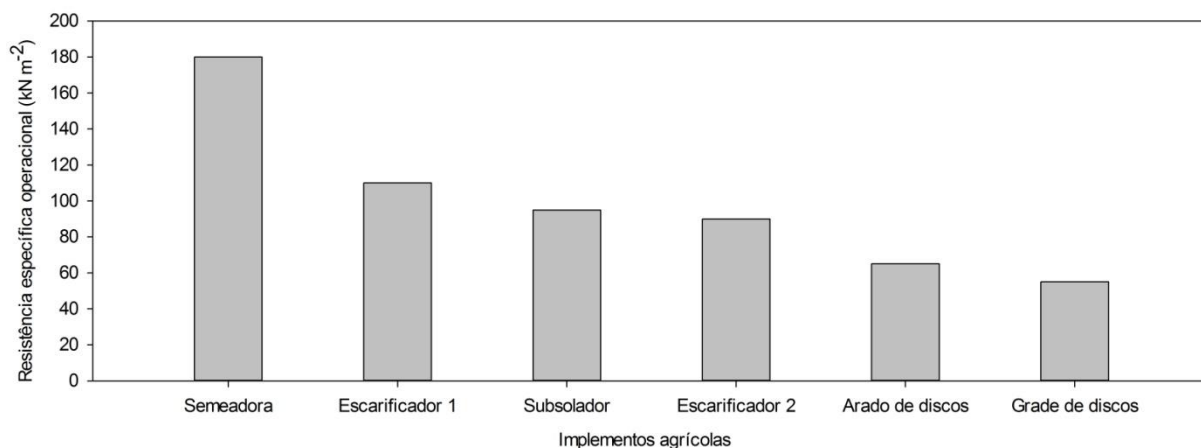
2.6.4 Resistência específica operacional

Para fins práticos, apenas a determinação da demanda de tração por ferramentas de mobilização do solo não é suficiente para uma adequada compreensão da operação conforme comentam Arvidsson, Keller e Gustafsson (2004), visto que os objetivos primários desta operação são a fragmentação, nivelamento e/ou incorporação de resíduos ao solo, entre outras ações. Assim, o mais importante é a determinação da força necessária para cada seção transversal de solo mobilizada, que é denominada como resistência específica operacional² (Spoor e Godwin, 1978; Mckyes, 1985 e Watts e Dexter, 1994). Esta é obtida pela razão entre força de tração demandada e a área de solo mobilizada (GAMERO E LANÇAS, 1996), sendo que conforme Godwin (2007), na busca de uma operação mais eficiente, deve-se almejar a redução deste parâmetro ao invés apenas da diminuição da força de tração.

Segundo Conte et al. (2011) esta variável proporciona uma comparação do gasto de energia por diferentes ferramentas em condições de mesma profundidade de operação e de eficiência no uso desta energia na mobilização do solo, quando as mesmas operam em diferentes profundidades de trabalho. Dessa forma, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos a fim de possibilitar o confronto do gasto de energia e da eficiência de seu uso por diferentes implementos de mobilização do solo em diversas condições de regulagens e uso, como ilustrado na Figura 12.

² Sinonímia: Coeficiente de resistência à tração (KLEIN, 1990).

Figura 12 - Resistência específica operacional de diferentes implementos agrícolas de mobilização de solo



Nota: Sulcadores de semeadora - Valor médio obtido em experimento de campo com dois diferentes sulcadores para sistema de semeadura direta (FRANCETTO et al., 2016b); Hastes de escarificador 1 - Valor médio obtido em experimento com preparo convencional com seis diferentes ponteiros (ARVIDSSON e HILLERSTRÖM, 2010); Hastes de subsolador - Valor médio obtido em experimentos com quatro subsoladores (KUMAR e THAKUR, 2005); Hastes de escarificador - Valor médio obtido em área de plantio direto com dois elementos descompactadores (BELLÉ et al., 2014); Discos de arado - Valor médio obtido em preparo convencional (ARVIDSSON, KELLER e GUSTAFSSON, 2004); Discos de grade - Valor médio obtido em experimento de campo em área de preparo convencional (VOZKA, 2007).

Com relação à sulcadores empregados em semeadoras-adubadoras, Francetto et al. (2016) afirma que os discos duplos apresentam maiores valores de resistência específica operacional ($187,46 \text{ kN m}^{-2}$) que as hastes sulcadoras ($170,51 \text{ kN m}^{-2}$), o que pode estar associado à menor demanda de tração e área de solo mobilizada por estes mecanismos. Dessa forma, a haste sulcadora é mais eficiente na utilização da tração para efeito de mobilização que os discos duplos.

Os mesmos autores destacam também, que o emprego de diferentes discos de corte (liso ou ondulado) associados a estes mecanismos e o incremento da velocidade de deslocamento na operação de semeadura, propicia elevação da demanda de tração por área de solo mobilizada, corroborando com os resultados de Silveira et al. (2011). Contudo, foi evidenciado que o sulcador disco duplo apresentou uma maior amplitude e influência proporcional sobre esta variável com o aumento da velocidade do que para o sulcador tipo haste. Além disso, o primeiro sulcador apresentou um melhor desempenho quando associado ao disco de corte ondulado e o segundo quando integrado ao disco de corte liso.

2.6.5 Força de tração específica

A análise do comportamento quanto à demanda de tração entre ferramentas ou associações de mecanismos da relação solo/máquina que realizam as mesmas funções, mas trabalham em profundidades diferentes, deve ser realizada de modo que esta regulagem não interfira nas interpretações. Dessa forma, faz-se necessário identificar a razão entre o requerimento de tração e a profundidade de trabalho, o que possibilitará uma comparação mais condizente e verídica sobre o desempenho energético realizado pelas diferentes ferramentas e as associações destas. Assim, a força específica é obtida pela divisão da força de tração pela profundidade de trabalho (FRANCETTO et al., 2016b).

Avaliando o desempenho de uma semeadora utilizando sulcador tipo haste em função da velocidade de deslocamento, Silveira et al. (2011) evidenciou que o aumento desta regulagem propicia incremento da demanda de força de tração específica, corroborando com os resultados obtidos por Francetto et al. (2016b). Contudo, estes últimos evidenciaram que este sulcador, quando associado ao disco de corte liso, apresenta manutenção desta demanda com o incremento da velocidade, o que não é verificado quando utilizado isoladamente ou com outro mecanismo de corte dos resíduos culturais. Para o sulcador disco duplo, a associação com discos de corte proporcionaram elevação na demanda, independentemente do tipo de borda, enquanto que quando o mesmo trabalhou isoladamente, manteve a demanda com o aumento da velocidade.

2.6.6 Patinamento dos rodados motrizes

Diversos são os fatores que afetam o desempenho dos tratores agrícolas, como por exemplo, o tipo de solo, tipo de preparo (primário ou secundário), tipo de cultivo, implemento utilizado, patinamento, entre outros. Dentre os itens citados, o patinamento é um dos fatores que mais compromete esse desempenho (LOUZADA et al., 2006).

Segundo Garcia (2006) o patinamento é o movimento relativo na direção de deslocamento, na superfície mútua de contato do rodado de tração ou de transporte e a superfície de apoio, sendo em geral expresso em termos percentuais. Depende de vários fatores como as condições do solo, pneu e distribuição de peso, além da carga no sistema de distribuição de engate de três pontos ou na barra de tração.

De acordo com as condições a que o trator está submetido, sua capacidade de esforço tratório pode gerar maior ou menor patinamento. Entretanto, ultrapassando certo limite, pode incidir na perda de contato dos rodados com o solo e redução de tração. A faixa ótima proposta pela ASAE (2006), para a patinamento de tratores em solos firmes é de 8% a 10% e de 11 a 13% em solos mobilizados.

A maior quantidade de matéria seca na superfície do solo, segundo Gabriel Filho et al. (2004), avaliando o desempenho de um trator agrícola em diferentes tipos de camada vegetal em um latossolo vermelho distroférico, concluíram que os índices de patinamento tendem a se elevar com maior quantidade de matéria seca, havendo alteração na interação do rodado com o solo e a capacidade do trator em desenvolver a tração é afetada. Todavia, Bortolotto, Pinheiro Neto e Bortolotto (2006), trabalhando com o mesmo tipo de solo, apontam que, na avaliação da demanda energética de uma semeadora-adubadora, o patinamento do rodado do trator não foi influenciado pela cobertura do solo. Essa situação também foi constatada por Cepik et al. (2010), na avaliação da força de tração e desempenho de um trator no processo de semeadura em um solo Argissolo Vermelho.

Furlani et al. (2008), avaliando uma semeadora-adubadora em três sistemas de cultivo em um Latossolo Vermelho, concluíram que, no sistema de semeadura direta, ocorre um maior patinamento das rodas motrizes do trator, enquanto que nas rodas da semeadora, o maior deslizamento aconteceu no preparo convencional.

Além disso, Levien et al. (2011) evidenciaram influência dos tipos de mecanismos para abertura de sulco no patinamento do trator, de 4,0%, quando utilizando discos duplos, para 6,3% quando empregando haste. Por outro lado, Mahl, Gamero e Benez (2007), concluíram que a influência dos diferentes mecanismos, em diferente solos, não é significativa, sendo de 8,9% e 8,4% para os de disco em solo arenoso e argiloso respectivamente, e, 9,0% e 8,1% para de sulcador fixo.

Ademais, analisando-se os dados de patinamento do trator e de força de tração obtidos por Palma et al. (2010), avaliando o desempenho de uma semeadora equipada com hastes sulcadoras, e Francetto et al. (2015b), avaliando associações de discos de corte a sulcadores, evidenciaram uma relação diretamente proporcional entre ambas variáveis.

2.7 FATORES DE INFLUÊNCIA

Os fatores de influência sobre o desempenho dos mecanismos de corte dos resíduos culturais e sulcadores podem ser divididos basicamente em três segmentos, sendo eles as

características dimensionais do mecanismo, as regulagens da operação, englobando a velocidade de deslocamento e profundidade de trabalho, e as condições de solo impostas.

2.7.1 Características dimensionais dos mecanismos

Os atributos dimensionais do sulcadores fixos, que influenciam o seu desempenho energético e quali/quantitativo, dizem respeito principalmente à largura da ponteira e ao ângulo de ataque agudo (menor que 90°). Já a largura da haste segundo Francetto et al. (2012), não proporciona interferência sobre as variáveis de mobilização do solo.

Cunha et al. (2010) destacam que sulcos com menores larguras reduzem a ocorrência de plantas invasoras e conseqüentemente a competição com a cultura a ser estabelecida. Por outro lado, Zelenin (1950 apud McKyes, 1985) e Kostrityn (1956 apud McKyes, 1985), destacam que uma ferramenta de preparo de solo muito estreita não é capaz de elevá-lo em toda sua profundidade de operação para certas condições do terreno, abaixo da qual este não se movimenta para frente nem para cima, comprimindo o solo lateralmente.

Siqueira, Casão Junior e Araújo (2002), trabalhando em um Latossolo Roxo Distrófico, em diferentes teores de água no solo, profundidades de trabalho e diferentes modelos de hastes sulcadoras, indicaram que o uso de ferramentas com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura máxima da ponteira de 22 mm, podem representar até 50% de redução na potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora.

Todavia, Payne e Tanner (1959) trabalhando com hastes inclinadas, evidenciaram que o esforço de tração e área de solo mobilizado, estão relacionados com o ângulo de ataque da ferramenta. Estes autores verificaram que para ângulos agudos ocorre um acréscimo da distância de ruptura do solo à frente da ferramenta, da largura do sulco, da força vertical e uma diminuição do esforço de tração. Esta dimensão é localizada entre a tangente à curvatura frontal da ponteira e o plano horizontal de deslocamento.

Além disso, Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986), afirmam que discos de corte com 0,46 m de diâmetro, apresentam desempenho satisfatório sob práticas de SSD em uma ampla faixa de densidade de resíduos sobre o solo.

2.7.2 Regulagens da operação

Altuntas et al. (2006) afirmam que toda e qualquer operação com máquinas agrícolas deve considerar a velocidade de operação do conjunto máquina-implemento, uma vez que esta influencia na qualidade do serviço, na demanda de tração e no consumo de combustível. Além disso, o patinamento dos rodados motrizes também é influenciado pela velocidade de deslocamento conforme concluiu Cepik (2002). Silveira et al. (2011), avaliando o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura do solo e em função da velocidade de deslocamento, observaram que o aumento desta proporcionou uma redução da força de tração. Por outro lado, Siqueira et al. (2001), trabalhando com velocidades de 1,31 e 2,31 m s⁻¹ na semeadura de soja, evidenciaram que a força de tração aumenta de forma significativa com o incremento da velocidade.

Casão Júnior et al. (2000) e Silveira et al. (2011), avaliando a influência da velocidade de operação na semeadura do milho com semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo haste, concluíram que a profundidade do sulco foi reduzida pela velocidade e que a área mobilizada de solo aumentou conforme o acréscimo desta. Cepik et al. (2005), avaliando o volume de solo mobilizado por uma semeadora com 5 linhas equipada com hastes em função da velocidade, verificaram valor médio de 121,80 e 135,90 m³ ha⁻¹, evidenciando um aumento de 12% quando a velocidade de semeadura passou de 1,25 m s⁻¹ para 1,81 m s⁻¹. Em contra partida, Silva et al. (2001) avaliando o desempenho de mecanismos de corte de palha, Bellé et al. (2014) e Gassen et al. (2014), trabalhando com escarificadores em sistema de semeadura direta, e Francetto et al. (2015b) analisando o desempenho de associações entre discos de corte e sulcadores, não encontraram influência do incremento da velocidade sobre a mobilização do solo. Este efeito pode estar associado à consistência friável do solo no momento do experimento, corroborando com os resultados obtidos por Casão Junior et al. (2000), que não obtiveram aumento desta variável apenas nesta condição de umidade.

Spoor e Godwin (1978) demonstraram em seus experimentos de campo, que a profundidade crítica das hastes, com largura de ponteira de 0,065 m, varia de 0,30 a 0,40 m. Esta profundidade diminui quando o solo se encontra mais plástico ou quando a superfície é excepcionalmente seca e cimentada (coesa), e, em profundidade, o solo é mais úmido. Quanto mais úmido e mais plástico é o solo, menor é a profundidade crítica.

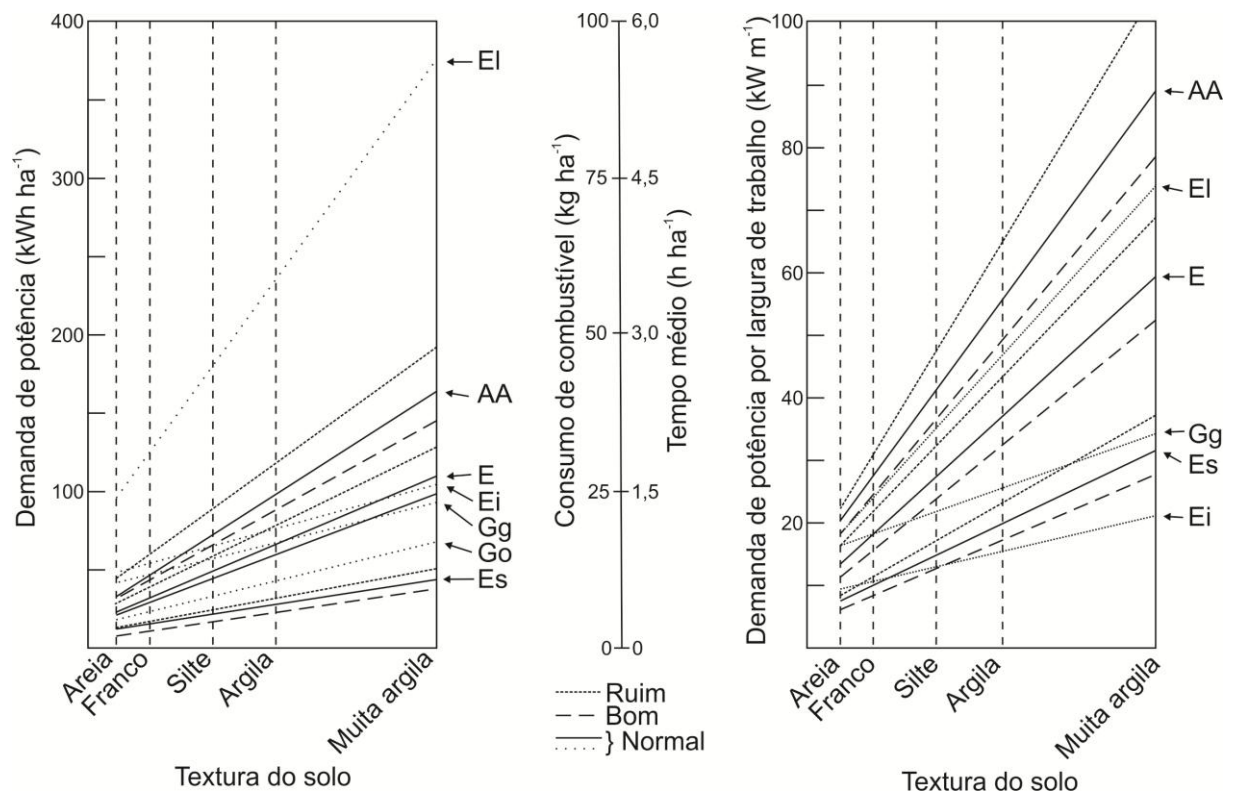
Segundo Francetto et al. (2015b) o sulcador disco duplo demanda maior esforço de tração em função da profundidade de trabalho em relação a haste, sendo esta mais eficiente no uso da tração por unidade de profundidade. Corroborando com essa afirmativa, Cepik (2006)

comenta que o esforço de tração de um SF cresce linearmente com a profundidade e Cepik et al. (2010), afirmaram que esta relação também ocorre com a área mobilizada.

2.7.3 Condições do solo

Ao analisar a demanda de potência, além do consumo de combustível e do tempo médio despendido de trabalho para distintas operações agrícolas mecanizadas (Figura 13), Perdok e Van de Werken (1983) evidenciaram incrementos destas demandas com o aumento do teor de argila no solo, destacando que a condição de solo afeta fortemente a eficiência de trabalho de ferramentas de relação solo/máquina.

Figura 13 - Demanda de potência, consumo de combustível e tempo médio de trabalho para diferentes implementos trabalhando em distintas texturas de solo



Fonte: Adaptado de Perdok e Van de Werken (1983).

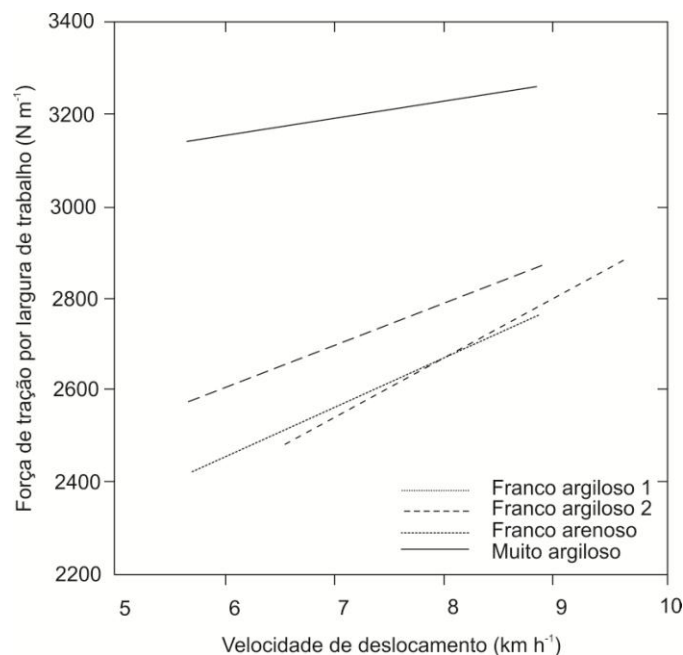
AA: Arado de aiveca; E: Escarificador; Ei: Enxada rotativa com facas retas; EI: Enxada rotativa com facas em forma de L; Es: Escarificador superficial. Gg: Grade de dentes giratórios; Go: Grade de dentes oscilantes.

Além disso, Collins e Fowler (1996) avaliando os efeitos das características do solo sobre a força de tração com diferentes mecanismos sulcadores de semeadoras, evidenciaram

que ocorreu um incremento de 24% no requerimento quando estes foram utilizados em solo argiloso (55% de argila e 2% de areia) comparado a arenoso (18% de argila e 50% de areia), corroborando com os resultados de Perdok e Van de Werken (1983). Além disso, também concluíram, que quando realizadas operações no solo com maior concentração de argila, evidencia-se com maior significância a grande influência do tipo de sulcador e da profundidade de semeadura no requerimento energético da operação.

Contudo, estes autores comprovaram que para determinar a direção e o sentido da ação de um fator sobre uma variável, como a velocidade de deslocamento sobre a demanda de tração, independe do tipo de solo, pois o acréscimo de energia será verificado em todas as condições, como ilustrado na Figura 14. Dessa forma, a seleção do tipo de solo, deste que este seja homogêneo ao longo da área de estudo, não é um determinante quando se deseja determinar a direção e o sentido de uma variável de desempenho modificada por algum fator inerente ao solo.

Figura 14 - Força de tração demandada em função da velocidade de deslocamento em diferentes tipos de solo



Fonte: Adaptado de Collins e Fowler (1996).

Cepik (2002) evidenciou que a demanda de tração amplia-se em função da profundidade (0,06 m para 0,12 m) de atuação da haste em magnitudes diferentes em função do teor de água no solo, aumentando 75% em solo úmido, 130% em situação friável e 84% em solo seco. Outrossim, o volume de solo mobilizado também é alterado. Além disso, Spoor

e Godwin (1978) demonstraram influência da umidade do solo sobre a profundidade crítica das hastes, variando de 0,30 a 0,40 m para hastes com largura de ponteira de 0,065 m. Esta profundidade diminui quando o solo se encontra mais plástico ou quando a superfície é excepcionalmente seca e cimentada (coesa), e, em profundidade, o solo é mais úmido. Quanto mais úmido e mais plástico é o solo, menor é a profundidade crítica.

Outrossim, Seidi et al. (2010) afirmam que uma maior densidade do solo acarreta em uma maior demanda de tração. Sánchez-Girón et al. (2005) comprovaram que o aumento na densidade proporciona acréscimos significativos na força de tração de um sulcador fixo trabalhando em 0,05 e 0,10 m de profundidade. Os autores encontraram ampliação média de 103,23% no requerimento quando a densidade passou de 1,1 para 1,2 g cm⁻³, 342,72% de 1,2 para 1,3 g cm⁻³, e 721,68% de 1,3 para 1,4 g cm⁻³.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em uma área agrícola situada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul), pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). As coordenadas geográficas do local são 29°43'29.16" latitude sul e 53°43'40.61" longitude oeste (ponto central), possuindo uma altitude média de 106 metros acima do nível do mar.

A escolha do local foi baseada na disponibilidade de recursos (material, humano e infraestrutura).

O clima da região enquadra-se na classificação climática "Cfa" de Köppen-Geiger, com um clima subtropical úmido, precipitações pluviiais médias razoavelmente bem distribuídas através dos meses do ano, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio entre -3°C a 18°C (MORENO, 1961). A Figura 15 ilustra a localização espacial do local.

Figura 15 - Localização espacial



Fonte: (Google Earth, 2016).

Foi avaliada e quantificada a presença de matéria seca sobre a superfície do solo em uma amostra de 1 m² por parcela experimental, através do método por secagem de estufa

elétrica com ventilação de ar forçada, regulada a uma temperatura de 70°C. O valor médio obtido foi de 55,78 g m⁻².

A caracterização física do solo se deu através da coleta de amostras a campo, em profundidade de 0 a 0,20 m, com posteriores análises no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), para determinações da densidade do solo e teor de água.

A determinação da consistência do solo referente à mudança do estado líquido para o plástico (constantes de Atterberg para limite de liquidez) seguiu a metodologia dos 25 golpes. A referente ao estado plástico para o estado semissólido (constantes de Atterberg para limite de plasticidade) seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Ambas as determinações foram analisadas no Laboratório de Agrohidrologia do curso de Engenharia Agrícola da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). A diferença entre ambos os valores, indicou o índice de plasticidade do solo.

A caracterização textural do solo consistiu na adoção do método de Vettori, proposto por Vettori (1969), sendo realizada no Laboratório de Física de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 2013) e classificado texturalmente como franco.

A resistência à penetração do solo foi determinada com a utilização de um penetrômetro eletrônico marca Falker, modelo PLG 1020. A coleta de dados foi realizada na profundidade de 0 a 0,40 m, com aquisição de um dado a cada 0,010 m de profundidade.

A fim de se obter o grau de compactação e o teor de água ótimo para tal, foi realizado um ensaio de compactação do solo no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria, conforme ABNT 6457³ (1986) e ABNT 7182⁴ (1986).

Os valores mínimos, médios e máximos das características físicas do solo determinadas, são apresentados na Tabela 1. Além disso, a variabilidade da densidade do solo e do teor de água para cada parcela experimental são expostos no Apêndice B e no Apêndice C, respectivamente.

³ ABNT 6457:1986 - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

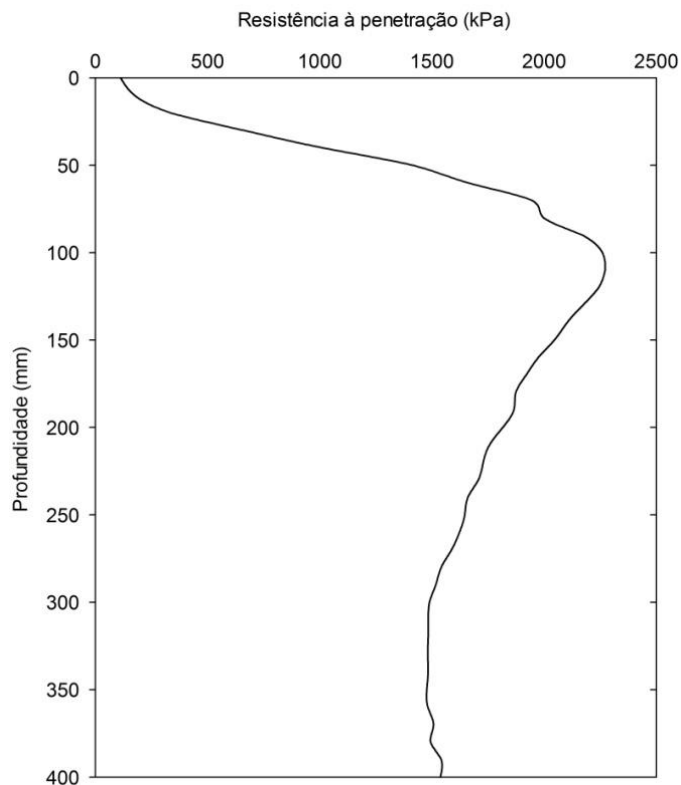
⁴ ABNT 7182:1986 - Ensaio normal de compactação de solos.

Tabela 1 - Valores mínimos, médios e máximos das características físicas do solo

Característica	Valores		
	Mínimo	Média	Máximo
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,10	1,55	1,89
Teor de água no solo (g g^{-1})	0,10	0,15	0,21
Limite de liquidez (%)	-	33,61	-
Limite de plasticidade (%)	-	30,55	-
Índice de plasticidade (%)	-	2,73	-
Porcentagem de argila (%)	-	20,40	-
Porcentagem de silte (%)	-	47,90	-
Porcentagem de areia (%)	-	31,70	-
Resistência à penetração (kPa)	111,55	1.591,48	2.271,61
Profundidade de ocorrência da resistência (cm)	1,00	-	11,00
Grau de compactação (g cm^{-3})	-	1,69	-
Teor de água ótimo (g g^{-1})	-	0,18	-

A Figura 16 ilustra a alteração média da resistência à penetração na área experimental em função da profundidade.

Figura 16 - Resistência à penetração em função da profundidade



O histórico da área é definido pela alternância entre soja (*Glycine max*) e gramíneas para pastejo no período invernal, sendo o azevém (*Lolium multiflorum*) e o trigo (*Triticum spp.*) as coberturas vegetais predominantes no momento da execução do experimento.

3.2 DESCRIÇÃO DOS FATORES

O experimento foi composto pela interação de três distintos fatores, sendo eles: mecanismo sulcador (Fator 1, com dois níveis), distância longitudinal de centro a centro do mecanismo de corte dos resíduos culturais e dos sulcadores (Fator 2, com três níveis) e pela velocidade de deslocamento (Fator 3, com quatro níveis). Seus respectivos níveis estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos fatores experimentais e seus respectivos níveis

Níveis	Fatores		
	Sulcador	Distância (m)	Velocidade (m s^{-1})
1	Haste sulcadora	0,50	1,11 (4 km h^{-1})
2	Discos duplos	1,00	1,67 (6 km h^{-1})
3	-	1,50	2,22 (8 km h^{-1})
4	-	-	2,78 (10 km h^{-1})

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE

3.3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso composto pela avaliação de 24 tratamentos oriundos da combinação dos níveis dos fatores em estudo, em um fatorial $2 \times 3 \times 4$ (2 sulcadores \times 3 distâncias \times 4 velocidades). Foram realizadas seis repetições por tratamento para as variáveis oriundas da instrumentação eletrônica e três para as de mobilização do solo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Número de amostras para as distintas variáveis de desempenho

Variáveis respostas	Número de amostras
Força de tração (kN)	6
Potência na barra (kW)	6
Consumo horário de combustível (l h^{-1})	6
Consumo específico de combustível (g kWh^{-1})	6
Área de solo mobilizada (m^2)	3
Área de solo elevada (m^2)	3
Empolamento de solo (%)	3
Profundidade máxima do sulco (m)	3
Largura máxima do sulco (m)	3
Resistência específica operacional (kN m^{-2})	3
Força de tração específica (kN m^{-1})	3
Patinamento dos rodados motrizes (%)	6

3.3.2 Análise das variáveis

Após a aquisição dos dados das variáveis, foram testadas a normalidade dos erros e a homogeneidade de variâncias, através do teste de Kolmogorov-Smirnov, para a primeira, e Cochran, para a segunda. Para estas, utilizou-se o software Assistat 7.7 beta 2015.

Os dados foram submetidos à análise estatística de variância e verificado a significância dos fatores através do teste F. Para interpretar quais foram os tratamentos que diferiram, foi aplicado o teste de análise de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro, como procedimento de comparação múltipla de médias em caso de significância dupla entre o fator mecanismo sulcador (qualitativo) e o fator distância e/ou velocidade (quantitativos). Além disso, uma análise de regressão buscando expressar matematicamente o comportamento destes fatores, também foi realizada. No caso de interação entre o fator distância (quantitativo) e velocidade (quantitativo), foi apresentada uma superfície de resposta.

Também foi realizada uma análise matemática da taxa de variação instantânea das funções obtidas na análise de regressão, com o uso do cálculo diferencial, conforme a definição disposta na Equação 5, das funções que descrevem o comportamento das associações quanto as variáveis de desempenho em função da velocidade de deslocamento. Dessa forma, foi possível determinar as interações que possibilitam a melhor atuação em função deste fator de influência.

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = f'(x) \quad (5)$$

Onde:

dy = variável de desempenho em análise

dx = fator de influência

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO MOTOMECANIZADO

O conjunto motomecanizado, ilustrado na Figura 17, foi caracterizado pela utilização de um trator agrícola de pneus e uma estrutura porta-ferramentas móvel, que é composto por uma estrutura chassi, acoplamento, rodados e sistemas de suspensão das ferramentas para manobras, desenvolvido por Gassen (2011).

Figura 17 - Conjunto motomecanizado



A Tabela 4 apresenta as especificações do trator. O mesmo operou sem o bloqueio do diferencial acionado. Além disso, a pressão interna dos pneus dianteiros foi de 206 kPa e dos traseiros 138 kPa.

Tabela 4 - Descrição do trator agrícola

Descrição	Especificação
Marca/Modelo	Valmet ⁵ /62 id Sincro-O-Mático
Potência	40 kW (55 cv)
Massa de embarque (kg)	2300
Pneu dianteiro/traseiro	Pirelli 7.50-16/ Pirelli 14.9-28
Largura (m)	2,05
Velocidade 1 (1,11 m s ⁻¹)	Grupo I - 1ª marcha (1L) - 2300 rpm
Velocidade 2 (1,67 m s ⁻¹)	Grupo I - 2ª marcha (2L) - 2300 rpm
Velocidade 3 (2,22 m s ⁻¹)	Grupo II - 1ª marcha (1H) - 1500 rpm
Velocidade 4 (2,78 m s ⁻¹)	Grupo II - 1ª marcha (1H) - 2300 rpm

3.5 MECANISMO DE CORTE DOS RESÍDUOS CULTURAIS

Foi utilizado um disco de corte com borda de corte lisa (DL), conforme ilustrado na Figura 18, possuindo diâmetro de 0,46 m, espessura da chapa de 0,0044 m e profundidade de trabalho regulada para 0,05 m.

⁵ A citação de marcas e modelos comerciais não implica em aprovação ou recomendação das mesmas por parte do autor.

Figura 18 - Disco de corte dos resíduos culturais



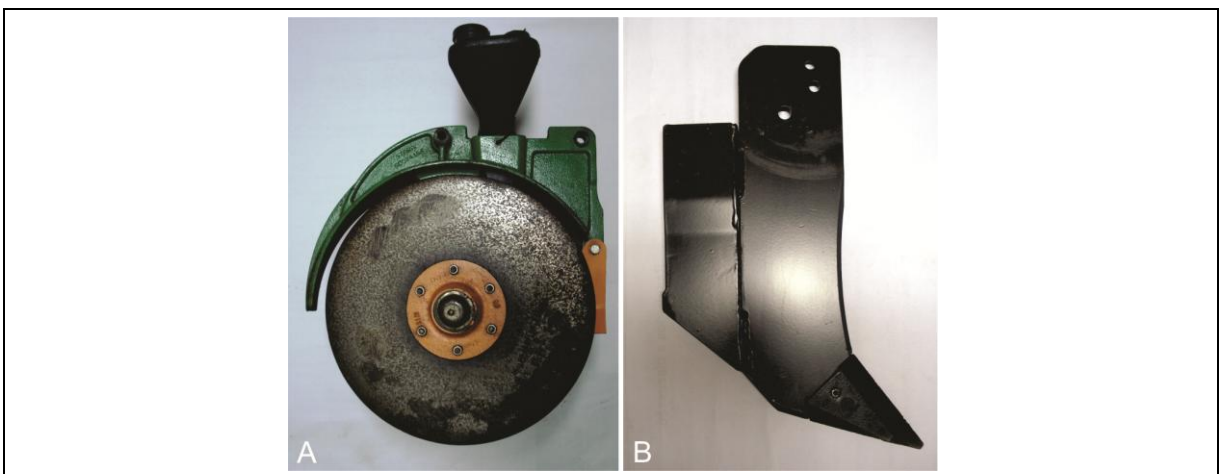
3.6 MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO

Foram utilizados uma haste sulcadora e um discos duplos desencontrados, conforme características apresentadas na Tabela 5. Ambos sulcadores são ilustrados na Figura 19.

Tabela 5 - Características construtivas dos sulcadores

Descrição	Especificação	
	Haste sulcador	Discos duplos
Espessura da haste (m)	0,01	-
Espessura da ponteira (m)	0,02	-
Ângulo de ataque (rad - graus)	0,96 - 55,00	-
Diâmetro (m)	-	0,39
Desencontrado (m)	-	0,004
Altura do ponto de contato (m)	-	0,07
Ângulo entre os planos de rotação dos discos (rad - graus)	-	0,21 - 12,00
Ângulo do eixo horizontal com o ponto de contato (rad - graus)	-	0,70 - 40,00
Profundidade regulada de trabalho (m)	0,11	0,06

Figura 19 - Elementos de abertura do sulco: discos duplos (A) e haste sulcadora (B)



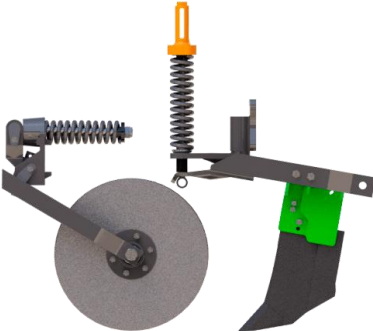
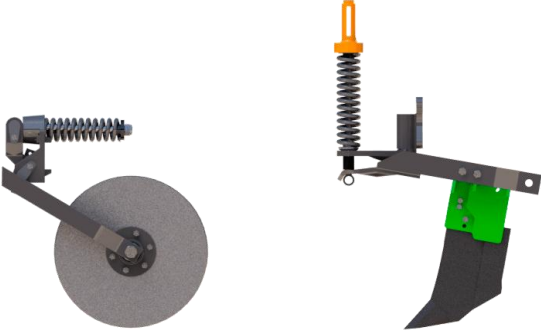

A Tabela 6 apresenta as ilustrações e as descrições das configurações de regulação da distância longitudinal entre os mecanismos que compõem a associação 1 (Disco de corte liso e sulcador disco duplo).

Tabela 6 - Descrições e ilustrações entre disco de corte e sulcador disco duplo

	Associação 1 - Distância 1 (DDD1)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Discos duplos
	Distância longitudinal: 0,50 m
	Associação 1 - Distância 2 (DDD2)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Discos duplos
	Distância longitudinal: 1,00 m
	Associação 1 - Distância 3 (DDD3)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Discos duplos
	Distância longitudinal: 1,50 m

As ilustrações e as configurações de regulação da distância longitudinal entre os mecanismos que formam a associação 2 (Disco de corte liso e sulcador haste) são expostas na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrições e ilustrações entre disco de corte e sulcador haste

	Associação 2 - Distância 1 (HSD1)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Haste
	Distância longitudinal: 0,50 m
	Associação 2 - Distância 2 (HSD2)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Haste
	Distância longitudinal: 1,00 m
	Associação 2 - Distância 3 (HSD3)
	Disco de corte: Liso
	Sulcador: Haste
	Distância longitudinal: 1,50 m

3.7 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em uma área total, não contabilizando local de manobras, de 4.320,0 m² (72 x 60 m). As parcelas possuíram uma área de 180,0 m², com 3,0 metros de largura por 60,0 metros de comprimento. A primeira dimensão foi definida em função da largura de trabalho do carro porta-ferramentas, enquanto que a segunda, decorreu da recomendação oriunda do projeto de norma ABNT 04:015.06-00 (1996)⁶.

⁶ Projeto de norma ABNT 04:015.06-007/1996: Semeadoras e distribuidoras em linha de fertilizantes ou de corretivos - Ensaio de campo.

3.8 AQUISIÇÃO DE DADOS DAS VARIÁVEIS DE DESEMPENHO

As variáveis de desempenho das associações de mecanismos foram obtidas de forma direta ou indireta, através da aplicação de diferentes métodos por distintas ferramentas, sendo este processo específico para aquisição de cada uma, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Processo de obtenção das variáveis de desempenho

Variáveis de desempenho	Aquisição		
	Forma	Método	Ferramenta
Força de tração	Indireta	Transdução de força ⁷	Célula de carga
Potência na barra	Indireta	Operação binária ⁸	Equação
Consumo horário de combustível	Indireta	Medição de fluxo	Fluxômetro
Consumo específico de combustível	Indireta	Operação ternária ⁹	Equação
Área de solo mobilizada	Direta	Medição de área	Software
Área de solo elevada	Direta	Medição de área	Software
Empolamento de solo	Indireta	Operação binária	Equação
Profundidade máxima do sulco	Direta	Medição de comprimento	Software
Largura máxima do sulco	Direta	Medição de comprimento	Software
Resistência específica operacional	Indireta	Operação binária	Equação
Força de tração específica	Indireta	Operação binária	Equação
Patinamento dos rodados motrizes	Indireta	Medição de frequência ¹⁰	Sensor indutivo

Para aquisição, gerenciamento e armazenamento dos dados oriundos dos dispositivos eletrônicos, foi utilizado um módulo de medição e controle (*datalogger*) marca Campbell Scientific modelo CR1000. Todos os equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica foram instalados seguindo as recomendações de Russini (2009), estando dispostos conforme ilustrado na Figura 20. Fez-se uso desse sistema em virtude de que o seu emprego permite grande capacidade operacional na avaliação de desempenho de implementos em campo, segundo Mantovani, Leplatois e Inamassu (1999).

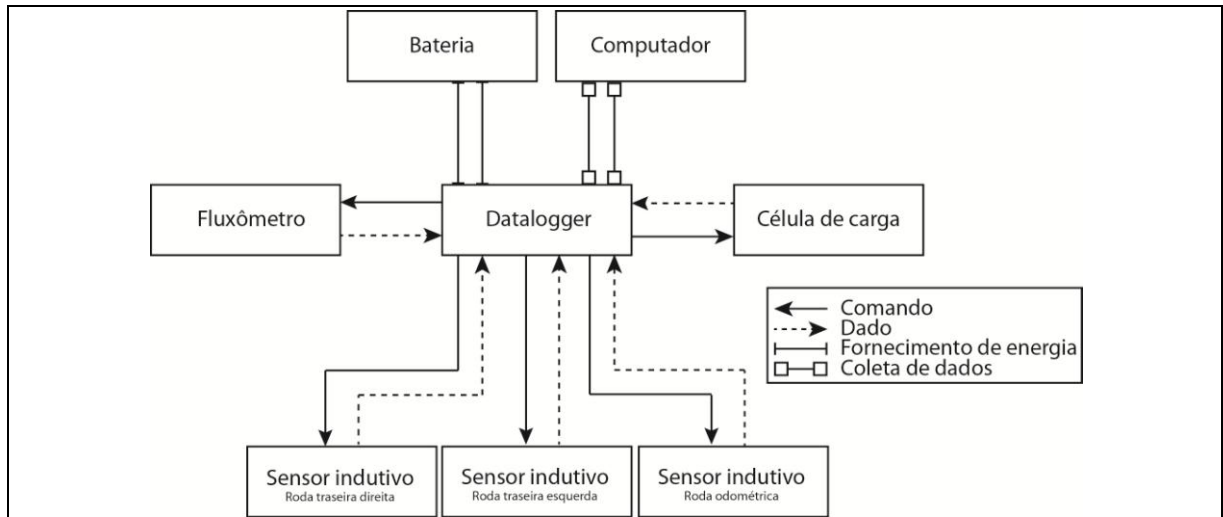
⁷ Transforma uma grandeza física (força) em um sinal elétrico.

⁸ Função com duas variáveis de entrada.

⁹ Função com três variáveis de entrada.

¹⁰ Execução da uma comutação eletrônica quando um objeto metálico invade o campo magnético gerado pelo sensor.

Figura 20 - Elementos da instrumentação eletrônica



Na Tabela 9 são apresentadas as funções diretas e indiretas dos dispositivos eletrônicos que foram utilizados na instrumentação eletrônica, bem como sua respectiva quantidade. O funcionamento detalhado de cada um será apresentado nos próximos tópicos.

Tabela 9 - Lista de equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica

Equipamento	Função inicial (direta)	Função final (indireta)	Quantidade
<i>Datalogger</i>		Aquisição e armazenamento de dados	1
Sensores indutivos	Emitir sinais elétricos	Mensurar velocidade	3
Célula de carga	Emitir sinais elétricos	Mensurar força de tração	1
Fluxômetro	Emitir sinais elétricos	Mensurar consumo de combustível	1

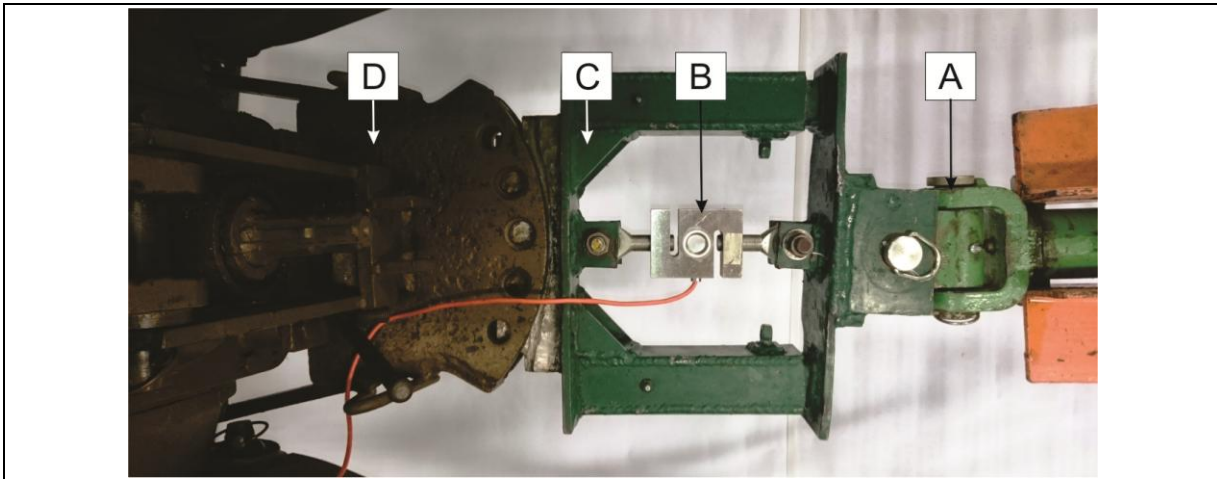
As variáveis de desempenho foram divididas em dois segmentos. As oriundas por elementos da instrumentação eletrônica (esforço tratório, consumo de combustível e patinamento) e as que empregam o uso conjugado de instrumentos mecânicos e de *software* (variáveis de mobilização), foram intituladas de primárias. Já as oriundas por relações entre estas, empregando operações binárias e/ou terciárias, foram chamadas de secundárias.

3.8.1 Variáveis primárias

3.8.1.1 Esforço tratório

Para determinação do esforço tratório das associações de mecanismos se fez uso de um transdutor de força (célula de carga) do tipo S (B), instalado em um suporte retrátil (C) entre o cabeçalho do porta-ferramentas (A) e a barra de tração do trator (D), conforme a Figura 21

Figura 21 - Local de instalação do transdutor de força tipo S



A célula de carga (B) foi acoplada em um suporte retrátil (C) fixo à barra de tração (D) e ao cabeçalho do porta-ferramentas (A). O implemento demandou uma força para seu deslocamento, denominada resistência ao rolamento (R_r), e uma para tracionar o conjunto quando os elementos estavam em contato com o solo, denominado força de tração instantânea. Estas foram medidas pela célula de carga, através de sinais elétricos emitidos de acordo com a intensidade e foram subtraídos, conforme a Equação 6, para obtenção da força de tração.

$$F_{tr} = \left(\sum \frac{F_i}{n} - \sum \frac{R_r}{n} \right) \quad (6)$$

Onde:

F_{tr} = Força de tração (kN)

F_i = Força de tração instantânea (kN)

R_r = Resistência ao rolamento (kN)

n = Número de dados coletados

Com posse dos valores de força de tração e sabendo-se a velocidade de operação da qual esta originou, calculou-se a demanda de potência gerada na barra de tração, conforme a Equação 7.

$$P_b = F_{tr} \times V \quad (7)$$

Onde:

P_b = Potência disponível na barra de tração (kW)

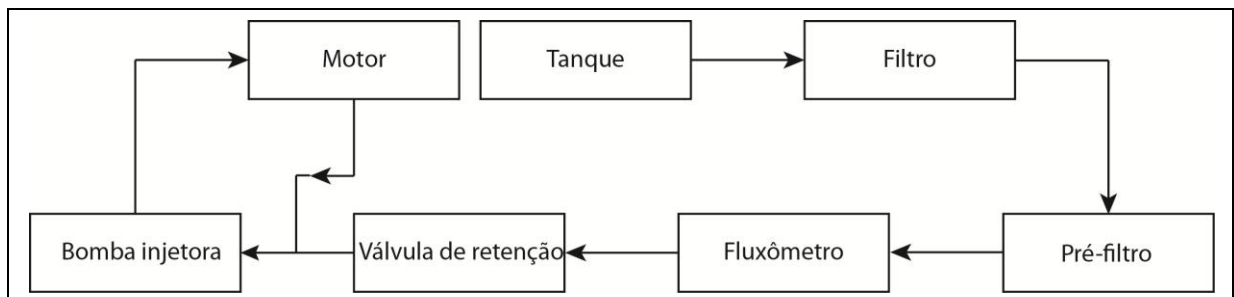
F_{tr} = Força de tração (kN)

V = Velocidade de deslocamento ($m\ s^{-1}$)

3.8.1.2 Consumo horário de combustível

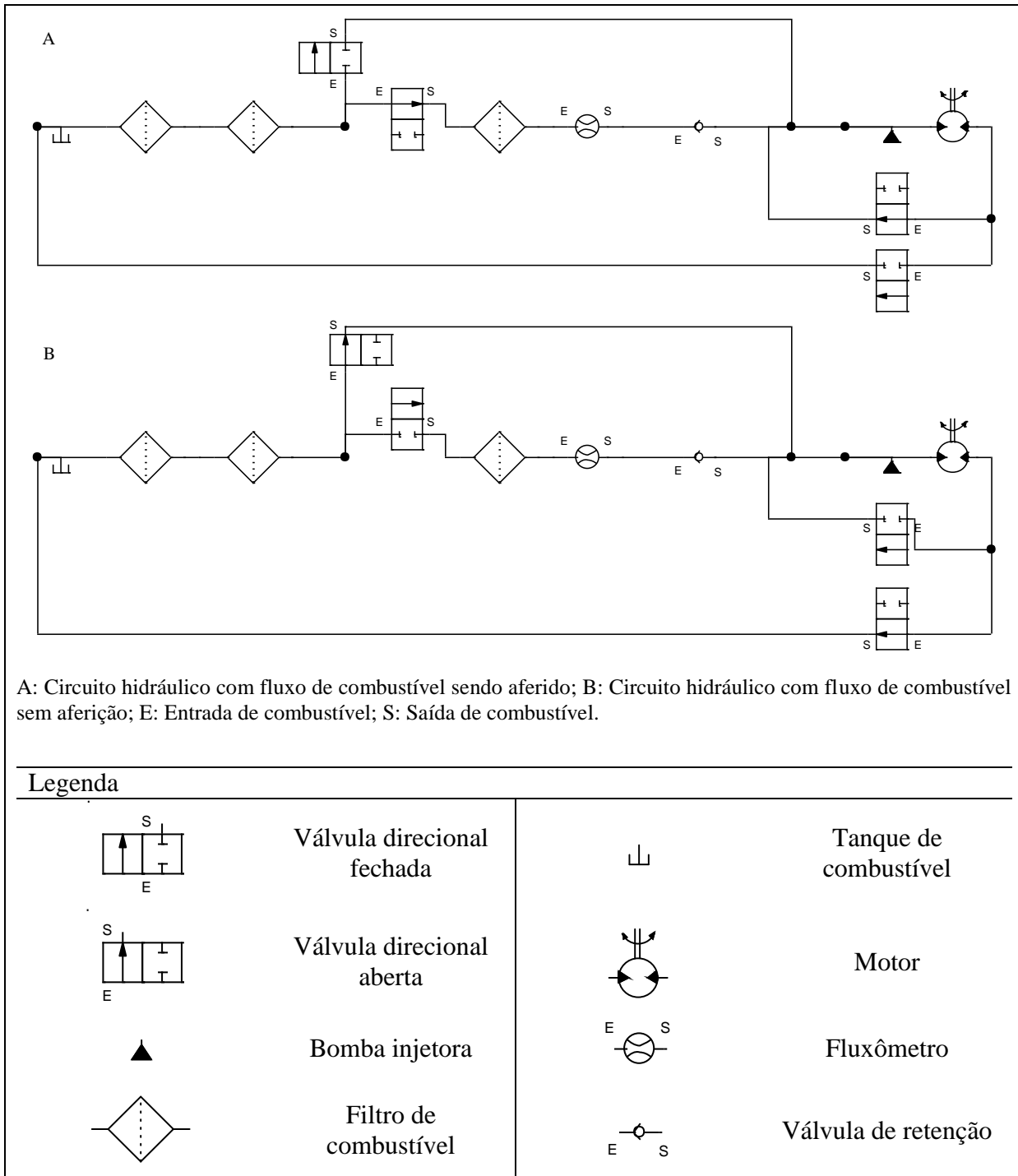
Para aferição do fluxo de combustível gerado pelo consumo do motor, se fez uso de um fluxômetro da marca Oval M-III, modelo LSF41, com acurácia de $\pm 1\%$ e instalado conforme Figura 22. O circuito hidráulico completo do sistema de aferição do consumo horário, apresentado todos os seus elementos e suas respectivas posições, é apresentado no Apêndice D.

Figura 22 - Esquema simplificado da instalação do fluxômetro



A Figura 23 ilustra o circuito hidráulico completo do sistema de aferição do consumo horário de combustível, bem como os elementos que o compõem.

Figura 23 - Circuito hidráulico do sistema para aferição do consumo de combustível



Com base na rotação de suas engrenagens internas, o equipamento emitiu pulsos elétricos¹¹ que foram enviados e armazenados pelo *datalogger*, de forma que, com a utilização da Equação 8, foi possível determinar o consumo horário de combustível.

¹¹ Um pulso elétrico corresponde à passagem um mililitro de combustível pelo fluxômetro. Taxa de aquisição de um pulso a cada dois segundos, o que corresponde a 1.800 mililitros por hora ($1,8 \text{ l h}^{-1}$).

$$Ch = Pu \times 1,8 \quad (8)$$

Onde:

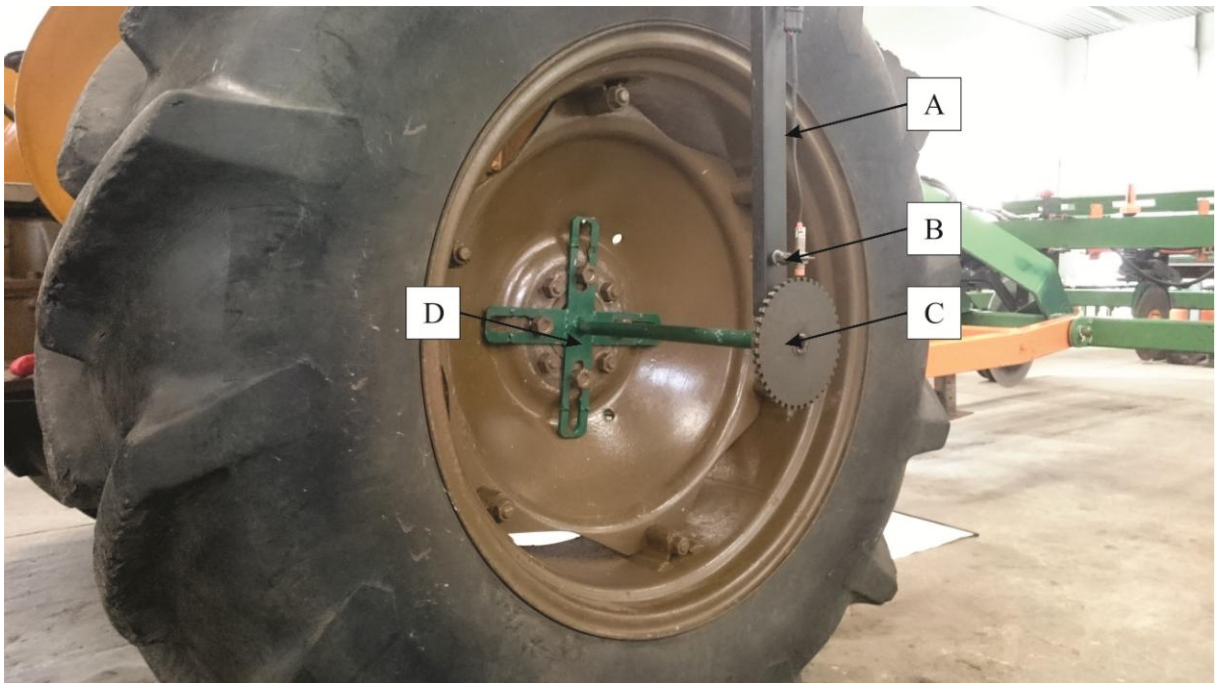
Ch = Consumo horário de combustível ($l h^{-1}$)

Pu = Pulsos elétricos gerados pelo fluxômetro

3.8.1.3 Patinamento dos rodados motrizes

O patinamento dos rodados foi determinado através da relação entre as velocidades das rodas motrizes e a não motriz conforme norma ASAE EP496.3¹² (2006), com o auxílio dos dados de frequência gerados pelos sensores indutivos, instalados um em cada roda motriz do trator e um em uma roda odométrica (não motriz), conforme ilustra a Figura 24.

Figura 24 - Instalação do sensor indutivo para aferição da velocidade da roda



Os sensores (B) permaneceram fixos em um suporte (A), possibilitando que não apresentassem movimento relativo com os rodados. Uma roda dentada metálica (C) permaneceu presa em um suporte (D) acoplado ao aro dos pneus traseiros e uma a roda odométrica, girando juntamente com o rodado. Em função disso, de acordo com a passagem

¹² ASAE EP496.3 February 2006: Agricultural Machinery Management

dos dentes, estes invadiram o campo magnético gerado pelos sensores de proximidade, o que possibilitou a emissão de pulsos elétricos indicando a frequência de rotação. Dessa forma, conforme a Equação 9 foi possível mensurar a velocidade das rodas.

$$V_{roda} = \frac{(F \times P)}{nd} \quad (9)$$

Onde:

V_{roda} = Velocidade da roda ($m s^{-1}$)

F = Frequência captada pelo sensor (Hz)

P = Perímetro da roda (m)

nd = Número de dentes da roda dentada

De posse das informações de velocidade média de deslocamento dos rodados motrizes e da roda odométrica, foi possível calcular o patinamento utilizando a Equação 10.

$$Pa = \frac{(V_{roda} - V_{sg})}{V_{roda}} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

Pa = Patinamento dos rodados motrizes (%)

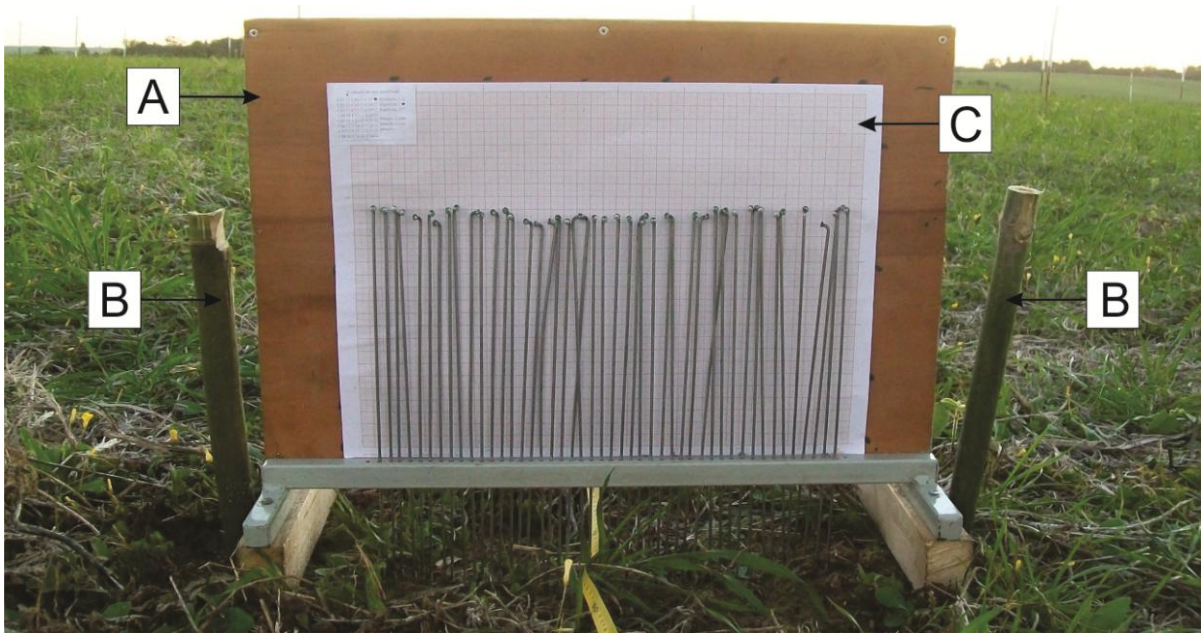
V_{roda} = Velocidade da roda motriz ($m s^{-1}$)

V_{sg} = Velocidade da roda que não desenvolve esforço ($m s^{-1}$)

3.8.1.4 Mobilização do solo

A caracterização dos efeitos das ferramentas sobre as variáveis de mobilização do solo foi realizada basicamente em três fases, para cada repetição, sendo elas: obtenção do perfil natural (fase 1), de elevação (fase 2) e de mobilização do solo (fase 3). Em todas, fez-se uso de um microperfilômetro (A) colocado entre estacas para assinalar o local analisado (B), ilustrado na Figura 25, marcando todos os perfis de uma repetição em uma mesma folha de papel A2 milimetrado (C).

Figura 25 - Microperfilômetro para marcação dos perfis de solo



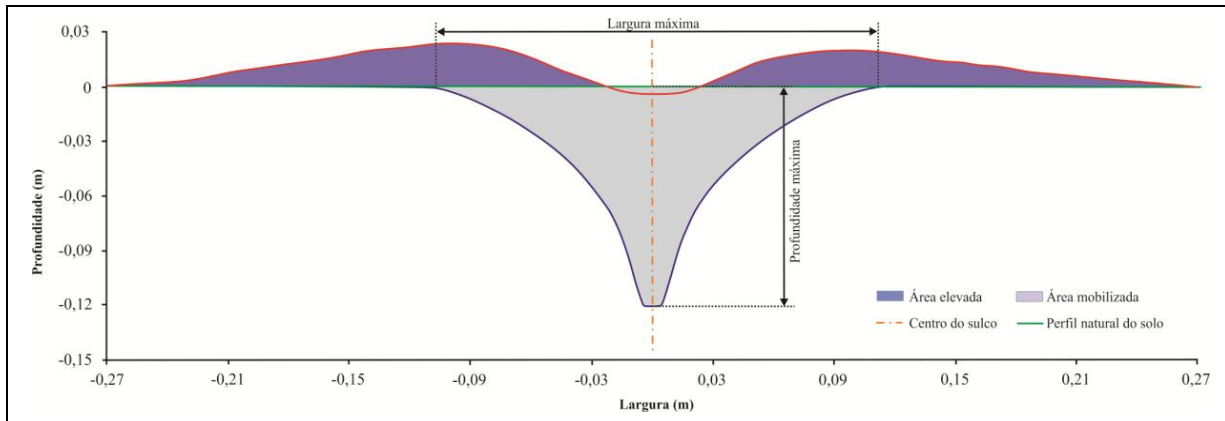
As tarefas básicas de utilização do microperfilômetro para cada fase, em ordem de execução, são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Tarefas básicas compreendidas nas fases de utilização do microperfilômetro

Fase	Tarefas
01	Demarcação do local
01	Posicionamento do microperfilômetro
01	Marcação do perfil natural em papel milimetrado
02	Passagem das ferramentas
02	Posicionamento do microperfilômetro
02	Marcação do perfil elevado em papel milimetrado
03	Remoção manual do solo
03	Posicionamento do microperfilômetro
03	Marcação do perfil mobilizado em papel milimetrado

Após a obtenção dos perfis demarcados em folha de papel, estes foram fotografados, ficando a máquina fixa (posição x, y e z). Em seguida, estas foram inseridas no programa computacional Auto Cad (escala 1:1) para traçar as linhas de contorno dos perfis e, através da utilização de ferramentas para leitura de área do *software*, foi determinado a área em metros quadrados. O espaço compreendido entre o primeiro e o segundo perfil, forneceu a área de solo elevada (A_e), enquanto que o abrangido entre o primeiro e o terceiro, compreendeu a área de solo mobilizada (A_m). Além disso, determinou-se a largura e a profundidade máxima do sulco conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Indicativo gráfico das variáveis quantitativas analisadas no sulco



3.8.3 Variáveis secundárias

3.8.3.1 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível foi obtido empregando-se a Equação 11. Este é alcançado pela relação entre o consumo horário e a potência demandada na barra de tração, sendo o valor obtido multiplicado pela densidade do combustível.

$$C_e = \left(\frac{C_h}{P_b} \right) \times d \quad (11)$$

Onde:

C_e = consumo específico de combustível (g kWh^{-1})

C_h = consumo horário de combustível (l h^{-1})

P_b = potência na barra de tração (kW)

d = densidade do combustível (g l^{-1})¹³

3.8.3.2 Empolamento do solo

O empolamento de solo foi determinado com o emprego da Equação 12, o qual é obtido pela razão entre a área elevada do solo e a mobilizada.

¹³ Densidade do combustível utilizada para os cálculos foi de $0,853 \text{ kg l}^{-1}$.

$$E_m = \left(\frac{A_e}{A_m} \right) \times 100 \quad (12)$$

Onde:

E_m = empolamento do solo (%)

A_e = área de solo elevada (m²)

A_m = área de solo mobilizada (m²)

3.8.3.3 Resistência específica operacional

A resistência específica operacional foi obtida pela razão entre força de tração média e a área mobilizada segundo a Equação 13.

$$R_{e o} = \frac{F_{tr}}{A_m} \quad (13)$$

Onde:

$R_{e o}$ = resistência específica operacional (kN m⁻²)

F_{tr} = força de tração média (kN)

A_m = área de solo mobilizada (m²)

3.8.3.4 Força de tração específica

A força de tração específica média foi determinada com base na Equação 14 utilizando os dados da força de tração e de profundidade máxima do sulco.

$$F_e = \frac{F_{tr}}{P_m} \quad (14)$$

lady

Onde:

F_e = força de tração específica (kN m⁻¹)

F_{tr} = força de tração média (kN)

P_m = profundidade máxima do sulco (m)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis primárias oriundas da instrumentação eletrônica

Na Tabela 11 é apresentada a análise estatística com as médias das variáveis primárias obtidas pelo uso da instrumentação eletrônica e os resultados do teste F.

Tabela 11 - Análise estatística com médias dos fatores, níveis e os resultados do teste F

Fatores	Variáveis			
	Ft (kN)	Pb (kW)	Ch (l h ⁻¹)	Pa (%)
SULCADOR				
Disco duplo (DD)	1,58 b	3,25 b	2,85 b	4,83 b
Haste sulcadora (HS)	2,49 a	5,12 a	2,97 a	5,41 a
DISTÂNCIA (m)				
0,5 (D1)	1,92 b	3,94 c	2,80 b	5,04 a
1,0 (D2)	2,06 a	4,22 b	2,91 ab	5,08 a
1,5 (D3)	2,12 a	4,40 a	3,01 a	5,22 a
VELOCIDADE				
1,11 m s ⁻¹ (V1)	1,60 d	1,77 d	2,78 b	4,82 b
1,67 m s ⁻¹ (V2)	1,85 c	3,08 c	2,85 b	5,03 ab
2,22 m s ⁻¹ (V3)	2,06 b	4,58 b	2,89 b	5,24 ab
2,78 m s ⁻¹ (V4)	2,63 a	7,32 a	3,11 a	5,38 a
CV e MG				
CV (%)	7,15	7,07	10,38	15,57
Média geral (MG)	2,03	4,19	2,91	5,12
Teste F				
Sulcador (F1)	1394,90**	1438,48**	5,51*	18,90**
Distância (F2)	24,13**	28,88**	5,74**	0,65 ns
Velocidade (F3)	330,77**	2325,66**	8,03**	3,38*
F1 x F2	4,40*	5,34*	0,14 ns	0,20 ns
F1 x F3	21,33**	111,71**	0,12 ns	0,79 ns
F2 x F3	5,14**	9,49**	0,11*	0,07**
F1 x F2 x F3	1,52 ns	1,71 ns	0,06**	0,09**

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey ($p < 0,05$).
 **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns: Não significativo ($p \geq 0,05$); Ft: Força de tração; Pb: Potência na barra de tração; Ch: Consumo horário de combustível; Pa: Patinamento.

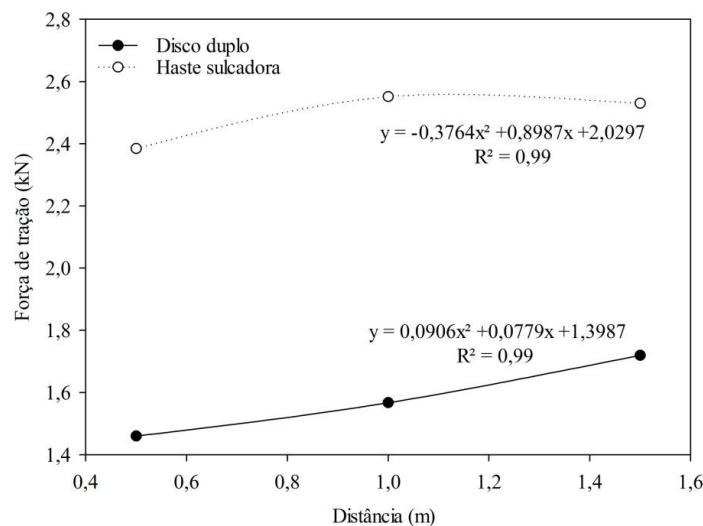
Os fatores sulcador, distância e velocidade de deslocamento apresentaram influência estatisticamente significativa sobre as variáveis de desempenho primárias oriundas da instrumentação, exceto o fator distância sobre o patinamento dos rodados motrizes.

Além disso, essas variáveis apresentaram aproximadamente 10,0% de coeficiente de variação, sendo obtido um valor menor para a potência (7,07%) e maior para o patinamento (15,57%). Dessa forma, por apresentar este valor de medida de dispersão e um desvio padrão de 2,95, a magnitude do erro experimental pode ser avaliada como baixa, aferindo uma alta precisão experimental na obtenção destas variáveis.

4.1.1 Força de tração

A Figura 27 ilustra o comportamento da demanda de força de tração para os dois sulcadores em função da modificação da distância dos mesmos para o mecanismo de corte dos resíduos culturais.

Figura 27 - Comportamento da força de tração em função da distância



Para ambos os sulcadores o incremento do fator distância para o mecanismo de corte proporcionou aumento na demanda de tração. No sulcador disco duplo, esse acréscimo apresentou comportamento constante para todos os níveis do fator, enquanto que para a haste sulcadora a ampliação foi mais significativa na distância 1 (0,5 m) para a 2 (1,0 m). Esse fato poderá estar associado à inércia do solo em retornar a posição original, ou seja, após a passagem do disco de corte há a formação de um pequeno sulco que, em caso de ocorrer um tempo prolongado até a passagem da ferramenta seguinte, tende a retroceder a uma posição próxima da original. Neste caso, ocorreria um aumento na área de contato entre solo e sulcador quando comparado à mesma configuração de elementos, com a diferença de estarem mais próximos.

As médias da demanda de tração para a interação entre sulcador e distância são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Demanda de tração dos sulcadores para cada nível de distância

Sulcador	Distância (m)			Média (kN)
	0,50	1,00	1,50	
Disco duplo	1,46 b	1,57 b	1,72 b	1,58
Haste sulcadora	2,38 a	2,55 a	2,53 a	2,49

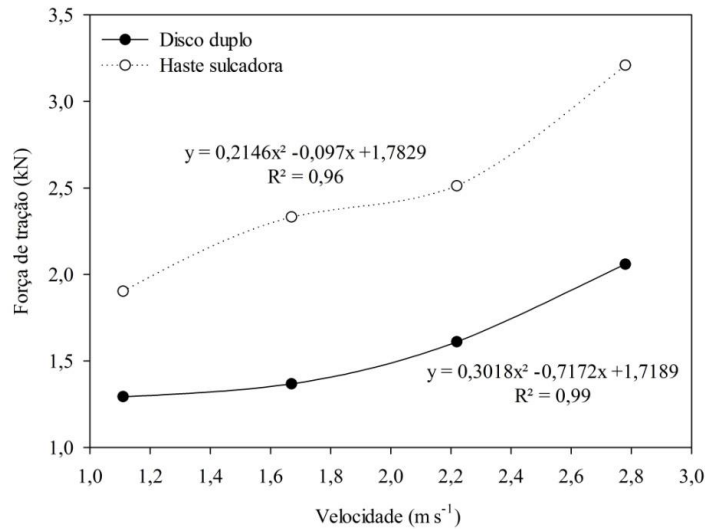
Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O requerimento médio de tração do sulcador haste foi 157,30% superior que o solicitado pelo mecanismo rotativo. O primeiro necessitou de 2,50 kN, enquanto que o segundo demandou 1,58 kN. Piffer (2008), avaliando a utilização de discos duplos em um Nitossolo Vermelho Distroférrico de textura muito argilosa, encontrou valores médios de 1,49 kN, e Silva (2003b), trabalhando com hastes sulcadoras, evidenciou demanda de 2,30 kN por linha de semeadura. Assim sendo, os resultados encontrados estão condizentes com os obtidos pela literatura. Além disso, Andreolla e Gabriel Filho (2006), Palma et al. (2011), Silva (2003b) e Tamayo (2002), após terem avaliado diferentes sulcadores, também evidenciaram que as hastes sulcadoras proporcionam maior exigência de tração. Isso pode ser explicado em função do projeto da haste visa quebrar as camadas mais compactadas de solo, trabalhando a uma maior profundidade, o que proporciona uma maior demanda de energia para vencer o acréscimo de atrito entre a ferramenta e solo, ao contrário dos discos duplos, que apenas abrem o sulco. Tal explicação vai de acordo com as afirmações de Harrison (1977).

Contudo, para ambos sulcadores o fator distância foi significativo, diferindo estatisticamente entre os sulcadores e entre os respectivos níveis, com exceção da haste sulcadora a 1,00 e 1,50 m. Para o mecanismo disco duplo o aumento de 1,0 m entre o disco de corte proporcionou incremento de 17,74%, enquanto que a haste demandou 7,0% mais tração. Dessa forma, a força de tração do mecanismo disco duplo se mostrou mais suscetível à mudança de distância para o mecanismo de corte do que a haste.

O comportamento da demanda de tração para ambos os sulcadores, em função da elevação da velocidade de deslocamento, é ilustrada na Figura 28.

Figura 28 - Comportamento da força de tração em função da velocidade de deslocamento



O incremento da velocidade de deslocamento, indiferentemente do sulcador empregado, proporcionou elevação na demanda de tração.

As médias da demanda de tração para os distintos sulcadores em função do acréscimo da velocidade de deslocamento são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Demanda de tração dos sulcadores para cada nível de velocidade

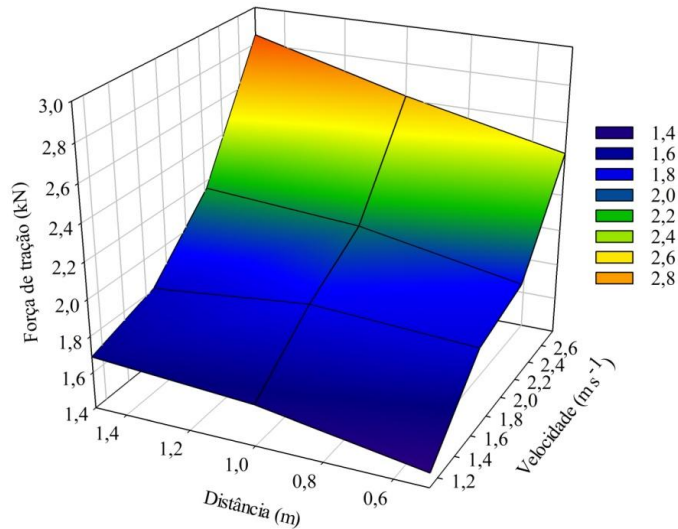
Sulcador	Velocidade (m s ⁻¹)				Média (kN)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Disco duplo	1,29 b	1,37 b	1,61 b	2,06 b	1,58
Haste sulcadora	1,90 a	2,33 a	2,51 a	3,21 a	2,49

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

O fator velocidade proporcionou influência significativa na variável força de tração para ambos os sulcadores, sendo que o sulcador disco duplo apresentou elevação na demanda de tração em aproximadamente 60% enquanto que a haste em 70%. Fato comprovado por Siqueira et al. (2001) e Furlani et al. (2013), avaliando a demanda de tração de uma semeadora em diferentes velocidades. Além disso, em todos os níveis do fator, os sulcadores definiram significativamente, sendo que os valores obtidos para a haste sempre foram superiores (médio de 170,58%). Já o mecanismo disco duplo não apresentou diferença significativa nas velocidades de 1,11 e 1,67 m s⁻¹. Todavia, ambos os níveis diferiram das velocidades de 2,22 e 2,78 m s⁻¹, que também apresentam diferença significativa entre si.

O comportamento da demanda de tração em função da modificação da velocidade e da distância é ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Superfície de resposta da demanda de força de tração



O fator distância e a velocidade de deslocamento apresentaram interação significativa entre elas sobre a variável força de tração, ou seja, a mudança de uma proporciona alteração na variável dependentemente de alteração na outra. Contudo, a elevação de ambas proporcionou incremento na demanda de tração, sendo o menor valor observado na velocidade mais baixa (1,11 m s⁻¹) e na distância inferior (0,50 m).

A função obtida, que descreve a demanda de tração em função da variação da distância entre sulcador e disco de corte dos resíduos culturais, bem como a velocidade de trabalho desta associação, é apresentada na Equação 15.

$$z = 1,430 + 0,488x - 0,407y - 0,143x^2 + 0,258y^2 \quad (R^2=0,98) \quad (15)$$

Onde:

z = Força de tração (kN)

x = Distância (m)

y = Velocidade (m s⁻¹)

Na Tabela 14 estão dispostas as funções matemáticas, suas respectivas derivadas e a inclinação desta reta em relação ao eixo y , que descrevem a demanda de força de tração das configurações.

Tabela 14 - Funções matemáticas que descrevem a demanda de força de tração

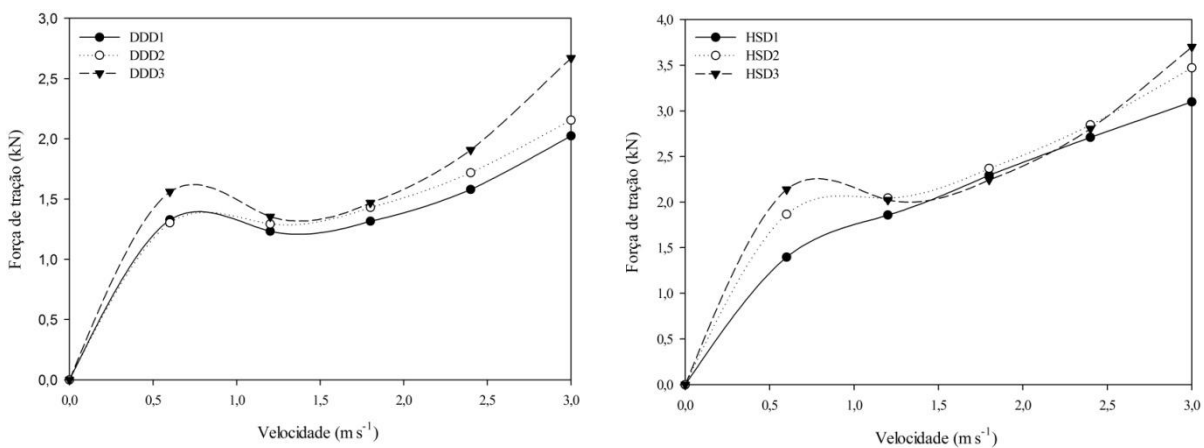
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,2494x^2 - 0,6077x + 1,6023$	0,97	$\frac{dy}{dx} = 0,4988x - 0,6077$	63,49°
DDD2	$y = 0,2067x^2 - 0,3887x + 1,4613$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,4134x - 0,3887$	67,54°
DDD3	$y = 0,449x^2 - 1,1543x + 2,0925$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,898x - 1,1543$	48,08°
HSD1	$y = -0,0332x^2 + 0,8283x + 0,9122$	0,93	$\frac{dy}{dx} = -0,0664x + 0,8283$	93,80°
HSD2	$y = 0,2079x^2 - 0,0807x + 1,8418$	0,94	$\frac{dy}{dx} = 0,4158x - 0,0807$	67,42°
HSD3	$y = 0,4693x^2 - 1,0393x + 2,5951$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,9386x - 1,0393$	46,81°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Os coeficientes de determinação obtiveram média de 96,83%, sendo que DDD2, DDD3 e HD3 apresentaram a melhor proximidade para a função, com 99,00%, seguido da DDD1, com 97,00%. Dessa forma, pode-se afirmar que as verificações a serem realizadas por predição terão correspondência efetiva com os valores reais, pois as dispersões ocorrem próximas das linhas de tendência dos modelos.

A representação gráfica do desempenho das associações quanto ao requerimento de força de tração com o incremento da velocidade de deslocamento é ilustrada na Figura 30.

Figura 30 - Representação gráfica das funções matemáticas das associações

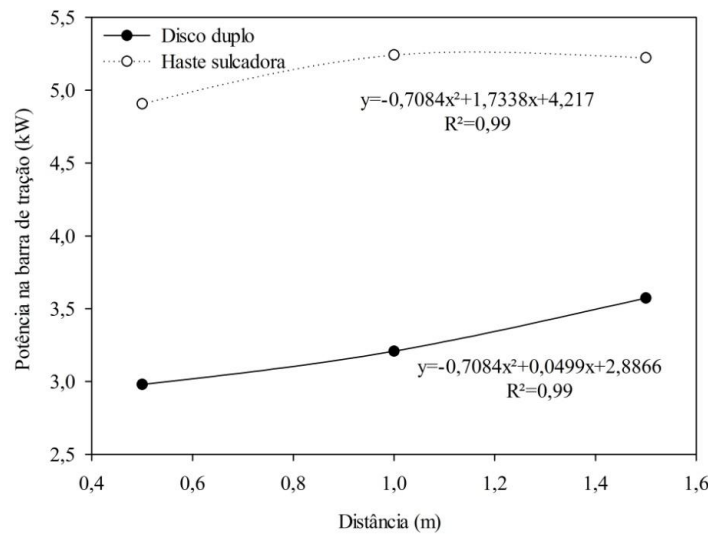


Foi evidenciado que os sulcadores que trabalham mais próximos ao disco de corte, apresentam menor influência proporcional na demanda de tração em função do incremento da velocidade, sendo o sulcador haste menos influenciado na condição mais próxima que o disco duplo (inclinações das retas com ângulos maiores). Ambos sulcadores apresentam influências semelhantes da velocidade de deslocamento na distância mais afastada do disco de corte. Dessa forma, o emprego dos sulcadores mais próximos ao disco diminuiu a interferência da velocidade sobre a elevação da demanda de tração proporcionada por esta.

4.1.2 Potência na barra de tração

A Figura 31 mostra a demanda de potência na barra de tração para o sulcador tipo disco duplo e a haste sulcadora em função da modificação da distância destes para o mecanismo de corte dos resíduos.

Figura 31 - Comportamento da demanda de potência em função da distância



Foi verificada influência proporcional da distância sobre a demanda de potência, sendo contatada maior solicitação por parte do sulcador tipo haste, sendo causado principalmente por uma maior profundidade de atuação deste sulcador, o que acarreta em uma elevação na necessidade de energia para suprir o maior atrito gerado entre a ferramenta e o solo.

Os valores médios da demanda de potência para a interação entre sulcador e distância, bem como o resultado do teste de Tukey, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Demanda de potência dos sulcadores para cada nível de distância

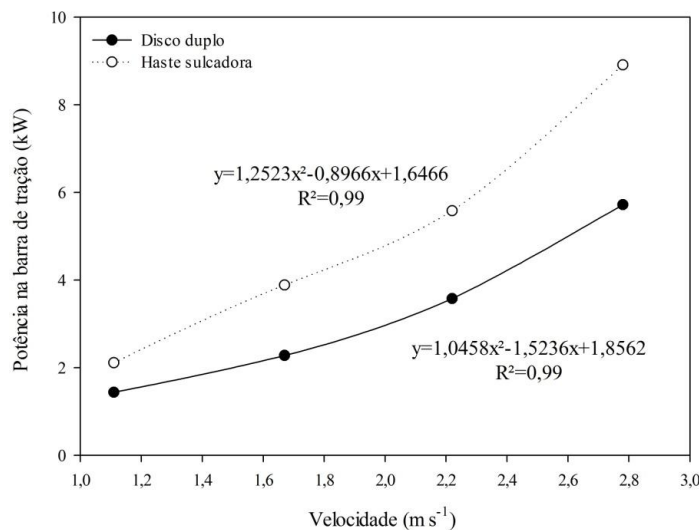
Sulcador	Distância (m)			Média (kW)
	0,50	1,00	1,50	
Disco duplo	2,98 b	3,21 b	3,57 b	3,25
Haste sulcadora	4,91 a	5,24 a	5,22 a	5,12

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

O sulcador haste exigiu em média 5,12 kW de potência na barra, enquanto que, para o disco duplo esta demanda foi de 3,25 kW. Desta forma, o requerimento do primeiro foi 57,54% maior que o do segundo, sendo causado principalmente por uma maior profundidade de atuação deste sulcador, o que acarreta em uma elevação na necessidade de energia para suprir o maior atrito gerado entre a ferramenta e o solo. Os resultados estão condizentes com os encontrados por Andreolla e Gabriel Filho (2006) e Coelho (1998).

A alteração na demanda de potência na barra de tração para ambos os sulcadores em função da velocidade de deslocamento é ilustrada na Figura 32.

Figura 32 - Comportamento da demanda de potência em função da velocidade



O comportamento da exigência de potência apresentou a mesma tendência de acréscimo, indiferentemente do mecanismo de abertura de sulco utilizado, com o acréscimo da velocidade. Além disso, a demanda do sulcador haste foi superior ao disco duplo em todas as velocidades, com maior tendência de aumento nas mais altas.

O desdobramento da interação entre o fator sulcador e velocidade para a variável demanda de potência é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Demanda de potência dos sulcadores para cada nível de velocidade

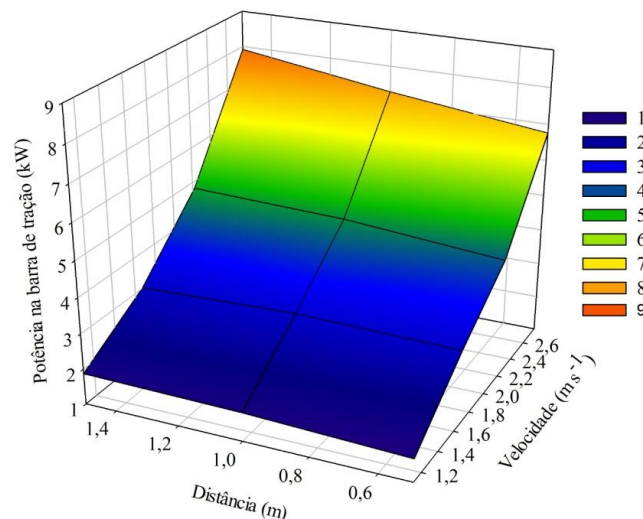
Sulcador	Velocidade (m s^{-1})				Média (kW)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Disco duplo	1,44 b	2,28 b	3,58 b	5,72 b	3,25
Haste sulcadora	2,11 a	3,89 a	5,58 a	8,91 a	5,12

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

O acréscimo da velocidade de deslocamento de 1,11 para 2,78 m s^{-1} proporcionou um aumento na demanda de potência em 297,22% para o sulcador disco duplo e de 322,28% para a haste. Além disso, para este último sulcador foi verificado que este incremento foi mais significativo em velocidades mais baixas, com diferença de 84,36% entre 1,11 e 1,67 m s^{-1} . Já para o mecanismo disco duplo, ocorreu uma elevação média de aproximadamente 60% em todos os níveis de velocidade. Silveira, Gabriel Filho e Secco (2005) e Mercante et al. (2005) avaliando a demanda de potência de uma semeadora, também comprovaram efeito de acréscimo desta variável quando incrementada a velocidade.

A alteração da demanda de potência na barra de tração, em função da modificação do fator distância e velocidade de deslocamento é ilustrada na Figura 33.

Figura 33 - Superfície de resposta da demanda de potência



Foi verificada interação significativa entre o fator distância e velocidade sobre a demanda de potência, de forma que o aumento de ambas proporcionou acréscimo na demanda de energia a cada unidade de tempo das configurações. Contudo, tendo em vista que este último fator é um termo da equação para obtenção da variável potência, apresentou maior

interferência que a modificação da distância. Já esta, por interferir significativamente na força de tração, que é o segundo termo da equação, também modificou a potência na barra de tração.

A modificação da demanda de potência na barra de tração em função da modificação da distância entre o mecanismo de corte e os sulcadores, bem como da velocidade de trabalho destes elementos, é descrita conforme a Equação 16.

$$z = 1,114 + 0,892x - 1,21y - 0,219x^2 + 1,149y^2 \quad (R^2=0,99) \quad (16)$$

Onde:

z =potência (kW)

x =distância (m)

y =velocidade ($m\ s^{-1}$)

Na Tabela 17 estão apresentadas as funções matemáticas, suas derivadas e a inclinação destas retas em relação ao eixo y da demanda de potência das configurações entre distância e sulcador.

Tabela 17 - Funções matemáticas e derivadas das associações

	Função matemática	R^2	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,8895x^2 - 1,2337x + 1,6704$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 1,779x - 1,2337$	29,34°
DDD2	$y = 0,7868x^2 - 0,6355x + 1,1632$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 1,5736x - 0,6355$	32,44°
DDD3	$y = 1,4607x^2 - 2,7006x + 2,7343$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 2,9214x - 2,7006$	18,90°
HSD1	$y = 0,769x^2 + 0,7426x + 0,2562$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 1,538x + 0,7426$	33,03°
HSD2	$y = 1,2632x^2 - 0,8967x + 1,7198$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 2,5264x - 0,8967$	21,59°
HSD3	$y = 1,7248x^2 - 2,5356x + 2,964$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 3,4496x - 2,5356$	16,17°

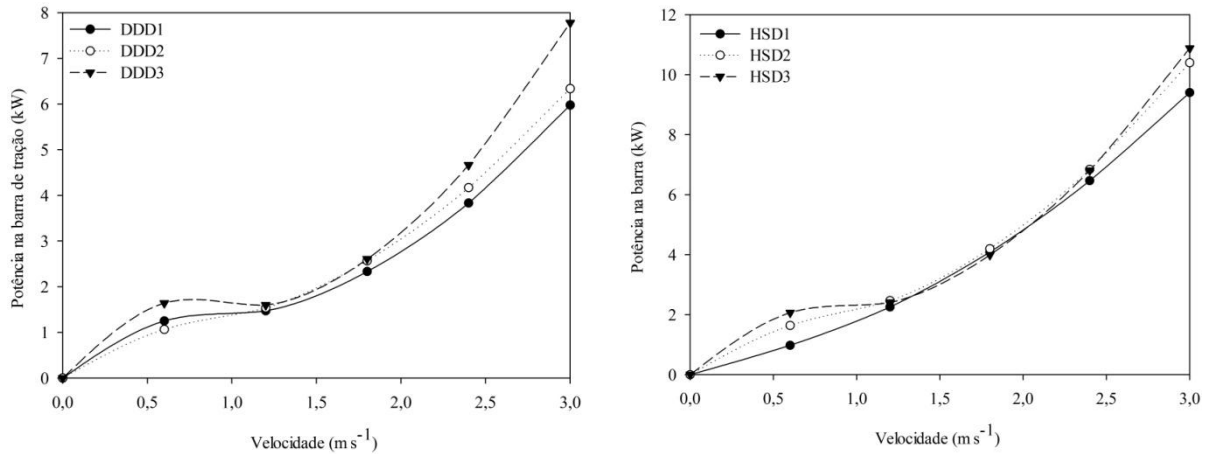
DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Foi verificado que os coeficientes de determinação mantiveram-se em 99,00% para todos os tratamentos. Assim, afirma-se que as averiguações a serem conseguidas por predição

terão equivalência efetiva com os valores reais, pois as dispersões ocorrem próximas das linhas de tendência dos modelos.

A Figura 34 apresenta a representação gráfica das funções matemáticas de demanda de potência na barra para o sulcador disco duplo e haste sulcadora.

Figura 34 - Ilustração gráfica das funções matemáticas que descrevem a demanda de Pb



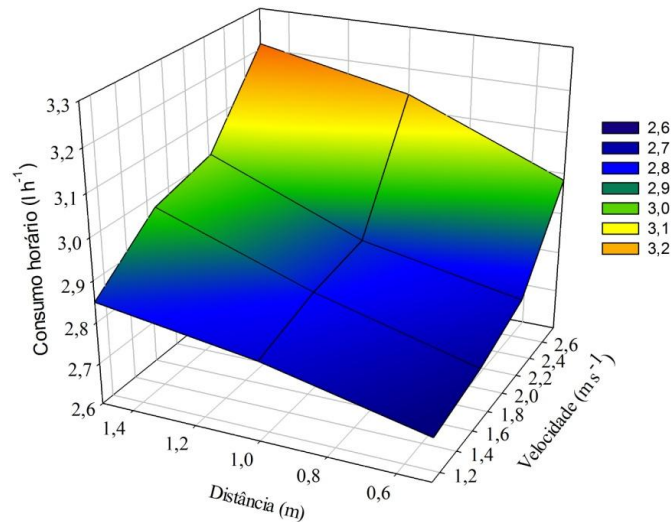
A menor influência da velocidade sobre a demanda de potência foi verificada para a haste sulcadora trabalhando na distância mais próxima, seguido pelo disco duplo na distância 2 (1,0 m) e 1 (0,50 m) e haste na distância 2, conseqüentemente. Assim estando os sulcadores mais próximos ao disco de corte, foi encontrada menor influência proporcional na potência em função do incremento da velocidade (inclinações das retas com ângulos maiores). Contudo, de maneira geral, foi verificada uma inclinação média das retas em aproximadamente 25°, o que demonstra elevada influência do fator sobre a variável em questão, independentemente do sulcador e/ou distância empregada.

4.1.3 Consumo horário de combustível

Foi evidenciado que o sulcador fixo apresentou maior consumo de combustível que o rotativo, sendo esta diferença de 4,04%. Esta situação deve-se ao maior requerimento de tração e potência demandada por este tipo de mecanismo. Estes resultados vão de acordo com os obtidos por Levien et al. (2011), Mahl, Gamero e Benez (2005) e Silva (2003), que avaliaram a demanda energética de uma semeadora-adubadora em sistema de semeadura direta.

O consumo horário de combustível em função da distância e da velocidade de deslocamento é ilustrado na Figura 35.

Figura 35 - Superfície de resposta do consumo horário de combustível



O consumo horário de combustível sofreu modificação proporcional significativa em função da alteração da velocidade de deslocamento e da distância entre o mecanismo de corte e a ferramenta de formação de sulco. Assim, os menores valores de consumo foram verificados na condição de velocidade 1 ($1,11 \text{ m s}^{-1}$) e distância 1 ($0,50 \text{ m}$).

A sentença matemática que expressa o consumo horário de combustível em função da modificação da distância entre os mecanismos de corte e de formação de sulco, bem como a alteração da velocidade de trabalho destes, é descrita na Equação 17.

$$z = 2,767 + 0,21x - 0,306y - 0,0065x^2 + 0,126y^2 \quad (R^2=0,98) \quad (17)$$

Onde:

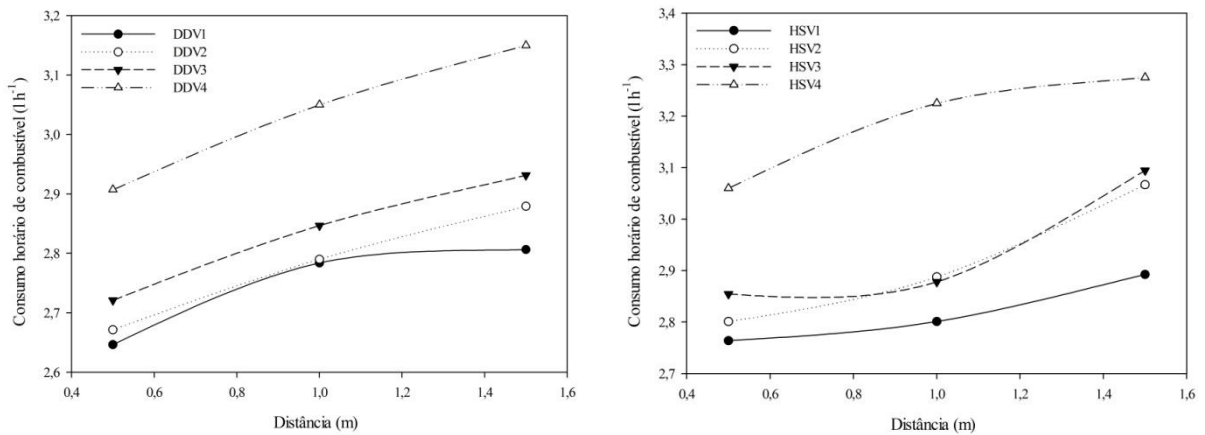
z =consumo horário (l h^{-1})

x =distância (m)

y =velocidade (m s^{-1})

A alteração do consumo horário de combustível em função da distância entre os mecanismos é ilustrada na Figura 36.

Figura 36 - Consumo horário de combustível em função da distância



Foi observado incremento do consumo horário de combustível com o aumento da distância entre o disco de corte e o sulcador, tanto para o disco duplo quanto para a haste sulcadora. Além disso, os maiores valores de consumo, independentemente da distância analisada, foram obtidos na maior velocidade de deslocamento para ambos os sulcadores. Ademais, os menores valores foram verificados na velocidade mais lenta.

As sentenças matemáticas que descrevem o consumo horário, suas respectivas derivações e inclinação destas retas em relação ao eixo y , são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Funções matemáticas do consumo horário de combustível

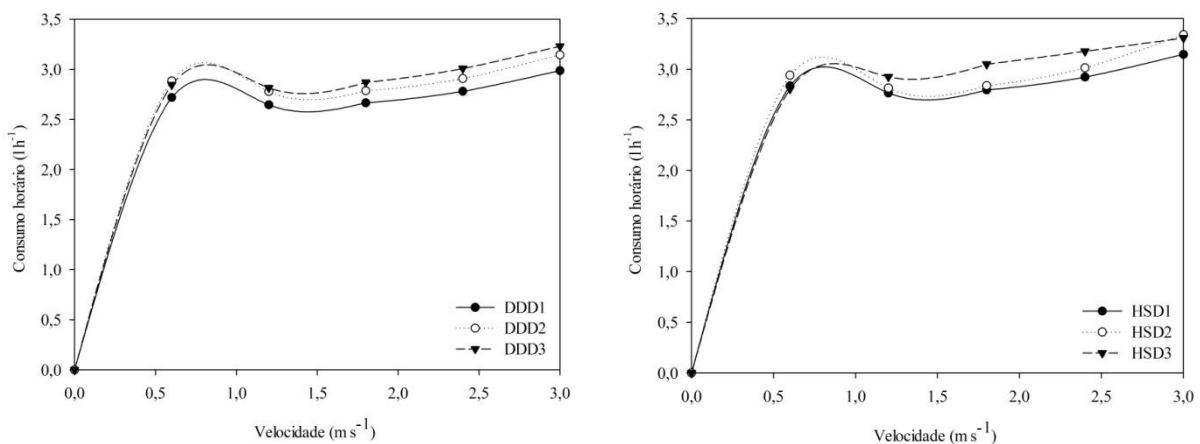
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,1297x^2 - 0,3551x + 2,8861$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 0,2594x - 0,3551$	75,46°
DDD2	$y = 0,1587x^2 - 0,4635x + 3,1075$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,3174x - 0,4635$	72,39°
DDD3	$y = 0,117x^2 - 0,2603x + 2,9601$	0,97	$\frac{dy}{dx} = 0,234x - 0,2603$	76,83°
HSD1	$y = 0,1358x^2 - 0,3589x + 3,0018$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 0,2716x - 0,3589$	74,81°
HSD2	$y = 0,2097x^2 - 0,5884x + 3,2181$	0,90	$\frac{dy}{dx} = 0,4194x - 0,5884$	67,25°
HSD3	$y = 0,005x^2 + 0,1922x + 2,6876$	0,94	$\frac{dy}{dx} = 0,01x + 0,1922$	89,43°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Com base na inclinação da reta da função derivada, foi evidenciado que a configuração HD2 (haste sulcadora com distância 1,0 m) foi a que sofreu menor influência proporcional em função do aumento da velocidade. As demais, com exceção da HD3 (haste sulcadora com distância de 1,50 m), apresentaram influência da velocidade semelhante, ou seja, a variável velocidade proporciona modificação equivalente para estas configurações.

As representações gráficas das funções matemáticas que descrevem o consumo horário de combustível dos sulcadores para as diferentes configurações de distância para o mecanismo de corte são ilustradas na Figura 37.

Figura 37 - Representação gráfica do consumo horário de combustível



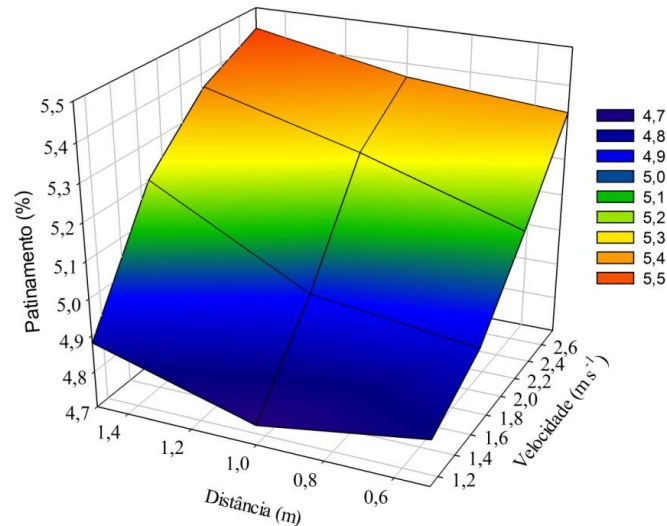
Foi verificado que para o sulcador disco duplo e para a haste sulcadora, ocorreu incremento do consumo horário de combustível com o aumento da velocidade, sendo que o primeiro sulcador demonstrou comportamento semelhante para as distintas distâncias estudadas. Dessa forma, a haste sulcadora demonstrou-se mais suscetível a alterações no consumo em função da mudança da distância para o mecanismo de corte.

4.1.4 Patinamento dos rodados motrizes

Os valores encontrados mantiveram-se abaixo do considerado adequado pela ASABE (2006) tanto para solos firmes como mobilizados, obtendo um valor médio de 5,12%. Este fato deve-se em virtude de que o esforço tratorio necessário para tracionar o conjunto trator/porta-ferramentas foi pequeno, por se tratar de um ensaio com apenas uma linha de interação com o solo. Contudo, não é definido sobre qual deve ser a faixa ideal de patinagem para solo com cobertura vegetal.

O patinamento dos rodados motrizes em função da interação entre o fator distância e velocidade de deslocamento é ilustrado na Figura 38.

Figura 38 - Superfície de resposta do patinamento dos rodados motrizes



A variação patinamento dos rodados motrizes apresentou alteração significativa em função da modificação da distância e da velocidade, sendo que o aumento de ambas proporcionou incremento da variável. Dessa forma, os melhores valores foram obtidos na condição de distâncias próximas entre disco de corte e sulcador trabalhando em velocidades mais lentas.

A sentença matemática que expressa a modificação do patinamento dos rodados motrizes associado à alteração da distância entre o mecanismo de corte dos resíduos e sulcadores e a velocidade de trabalho, está apresentada na Equação 18.

$$z = 4,24 - 0,214x + 0,573y + 0,195x^2 - 0,060y^2 \quad (R^2=0,98) \quad (18)$$

Onde:

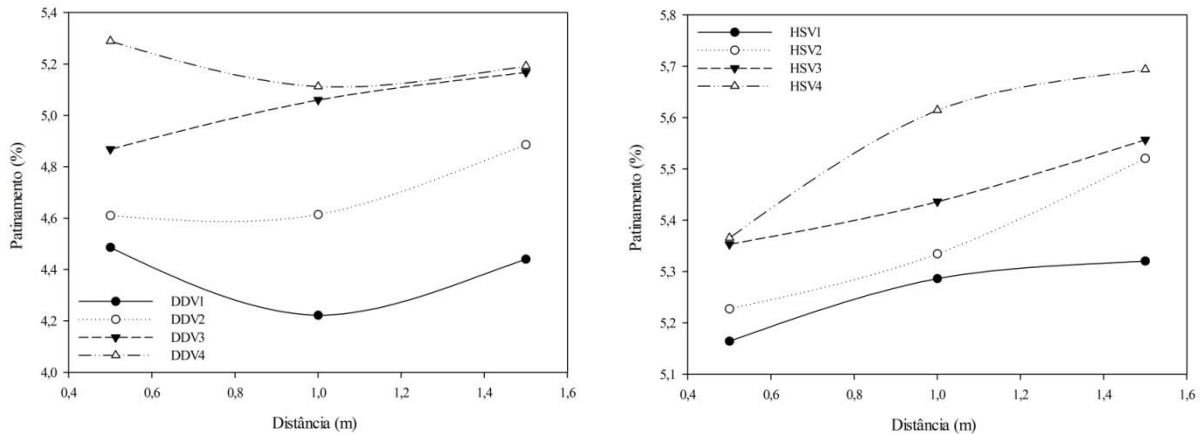
z =patinamento ($l\ h^{-1}$)

x =distância (m)

y =velocidade ($m\ s^{-1}$)

A Figura 39 ilustra a modificação do patinamento dos rodados motrizes para ambos os sulcadores nas velocidades de deslocamento em função do fator distância.

Figura 39 - Comportamento do patinamento em função do fator distância



Foi verificado incremento do patinamento para ambos sulcadores em função do aumento da distância, sendo que o sulcador tipo haste foi a que apresentou os maiores valores de patinamento, variando aproximadamente 0,50% entre o menor e o maior valor. Já o disco duplo, apresentou aproximadamente 1,0% de variação entre o valor superior e inferior.

As sentenças matemáticas do patinamento, suas derivadas e inclinação com relação ao eixo y, para as distintas configurações de sulcador e distância em função da velocidade de deslocamento são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Sentenças matemáticas do patinamento dos rodados motrizes

	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,2395x^2 - 0,4513x + 4,6928$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,479x - 0,4513$	64,41°
DDD2	$y = -0,2752x^2 + 1,6311x + 2,7271$	0,98	$\frac{dy}{dx} = -0,5504x + 1,6311$	118,83°
DDD3	$y = -0,342x^2 + 1,7861x + 2,8732$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -0,684x + 1,7861$	124,37°
HSD1	$y = -0,0412x^2 + 0,2913x + 4,8828$	0,94	$\frac{dy}{dx} = -0,0824x + 0,2913$	94,71°
HSD2	$y = 0,1052x^2 - 0,2138x + 5,395$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,2104x - 0,2138$	78,12°
HSD3	$y = -0,0511x^2 + 0,4068x + 4,9449$	0,95	$\frac{dy}{dx} = -0,1022x + 0,4068$	95,84°

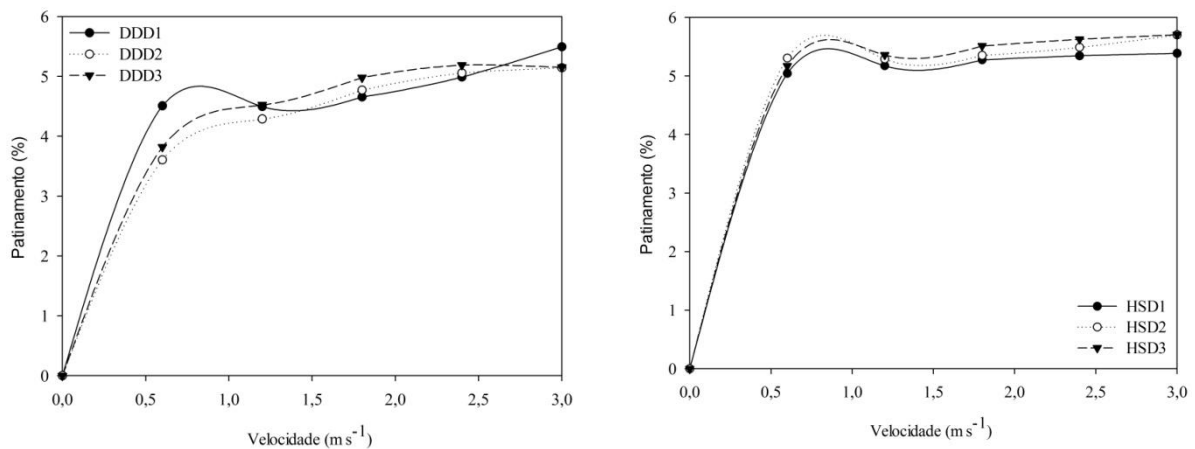
DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Foi evidenciado que a modificação do patinamento com o incremento da velocidade de deslocamento é mais propensa quando empregado o sulcador disco duplo, visto que a

inclinação média da reta da função derivada foi de $102,54^\circ$, principalmente para a condição de distância 3 (1,50 m). Já o sulcador haste apresentou inclinação média de $89,56^\circ$, o que também demonstra suscetibilidade a modificação da variável com o aumento da velocidade, porém inferior ao disco duplo, sendo também verificada maior interferência para a condição de maior distanciamento para o disco de corte.

A Figura 40 ilustra a representação gráfica das funções matemáticas que descrevem o patinamento dos rodados motrizes.

Figura 40 - Representação gráfica das funções matemáticas do patinamento



A interferência da velocidade sobre o patinamento foi diferente entre velocidades e proporcional ao aumento destas, sendo verificada uma ampliação média de 11,62% entre as velocidades de 1,11 e 2,78 m s⁻¹. Tal episódio deve-se, possivelmente, ao incremento no esforço de tração do conjunto. Cepik (2002) analisando o desempenho de um conjunto trator/semeadora equipada com hastes sulcadoras e Chioderolli et al. (2012) avaliando o comportamento de um conjunto trator/semeadora, ambos em diferentes velocidades, também evidenciaram acréscimo no patinamento com o incremento da velocidade.

4.2 Variáveis primárias de mobilização

A Tabela 20 apresenta a análise estatística, com os valores médios para cada nível dos fatores e o resultado do teste de Tukey para as variáveis primárias de mobilização do solo.

Tabela 20 - Análise estatística para as variáveis primárias de mobilização do solo

Fatores	Variáveis			
	Am (m ²)	Ae (m ²)	Pm (m)	Lm (m)
SULCADOR				
Disco duplo (DD)	0,0098 b	0,0026 b	0,0609 b	0,2518 b
Haste sulcadora (HS)	0,0112 a	0,0033 a	0,1106 a	0,2616 a
DISTÂNCIA (m)				
0,5 (D1)	0,0103 a	0,0026 b	0,0857 a	0,2512 a
1,0 (D2)	0,0110 a	0,0029 ab	0,0858 a	0,2566 a
1,5 (D3)	0,0101 a	0,0033 a	0,0859 a	0,2621 a
VELOCIDADE				
1,11 m s ⁻¹ (V1)	0,0107 ab	0,0028 a	0,0863 a	0,2557 a
1,67 m s ⁻¹ (V2)	0,0094 b	0,0029 a	0,0860 a	0,2628 a
2,22 m s ⁻¹ (V3)	0,0101 ab	0,0029 a	0,0850 a	0,2490 a
2,78 m s ⁻¹ (V4)	0,0117 a	0,0031 a	0,0859 a	0,2590 a
CV e MG				
CV (%)	18,31	24,97	10,44	6,49
Média geral (MG)	0,0105	0,0029	0,0858	0,2566
Teste F				
Sulcador (F1)	10,02**	17,85**	552,96**	6,23*
Distância (F2)	1,54 ns	6,14**	0,0035**	2,58 ns
Velocidade (F3)	4,29**	0,56 ns	0,06*	2,23 ns
F1 x F2	6,84**	0,32 ns	0,31 ns	1,32 ns
F1 x F3	1,38 ns	0,10 ns	0,36 ns	1,09 ns
F2 x F3	1,69 ns	0,80 ns	0,63 ns	0,70 ns
F1 x F2 x F3	0,93 ns	0,24 ns	0,11*	0,33 ns

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey ($p < 0,05$).

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * : Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns: Não significativo ($p > 0,05$); Am: Área de solo mobilizada; Ae: Área de solo elevada; Pm: Profundidade máxima do sulco; Lm: Largura máxima do sulco.

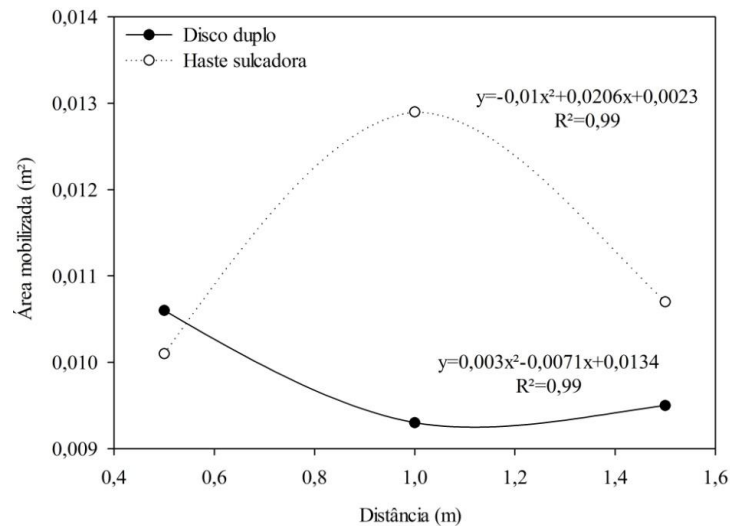
O fator sulcador proporcionou alteração significativa em todas as variáveis de mobilização do solo, enquanto que o fator distância modificou significativamente apenas a área elevada e a profundidade máxima do sulco. Já a velocidade de deslocamento, interferiu significativamente nesta última e na área de solo mobilizada.

O coeficiente de variação apresentou média geral de 15,05%, com maiores dispersões para as variáveis unitárias de área (média de 21,64%) do que as lineares (média de 8,46%), corroborando com os resultados obtidos por Francetto et al. (2016c).

4.2.1 Área de solo mobilizada

A variação na área de solo mobilizada para ambos os sulcadores em função da modificação da distância destes para o mecanismo de corte dos resíduos é ilustrada na Figura 41.

Figura 41 - Comportamento da área de solo mobilizada em função da distância



Para ambos sulcadores a modificação da distância proporcionou mudanças numéricas na variável área mobilizada. Contudo, para o sulcador disco duplo, na condição mais próxima (0,50 m), e para a haste sulcadora, na condição intermediária (1,0 m), essas modificações podem também ter sofrido interferência da variabilidade de características físicas locais do solo, como uma densidade do solo menor.

As médias de interação e o resultado do teste de Tukey entre o fator sulcador e distância são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Área de solo mobilizada para cada nível de distância

Sulcador	Distância (m)			Média (m²)
	0,50	1,00	1,50	
Disco duplo	0,0106 a	0,0093 b	0,0095 a	0,0098
Haste sulcadora	0,0101 a	0,0129 a	0,0107 a	0,0112

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

O comportamento da área de solo mobilizada, em função da mudança da distância para o sulcador disco duplo, apresentou redução não significativa com o aumento desta, variando 10,38% da distância 0,50 para 1,50 m. Para o sulcador tipo haste, a redução entre estes níveis do fator também não foi significativa, apresentando variação de aproximadamente 6%. Contudo, para a distância de 1,0 m a área mobilizada para este sulcador foi por volta de 25% maior que as demais, sendo significativamente diferente. Todavia, essa circunstância pode ter ocorrido em virtude de mudanças físicas locais, que interferiram no valor final, o que não modifica a tendência de manutenção da área mobilizada com a alteração da distância verificada nas demais condições.

A modificação da área de solo mobilizada expressa matematicamente, sua derivada e inclinação em relação o eixo y, para cada sulcador e as configurações de distância influenciada pela velocidade de deslocamento é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação da área de solo

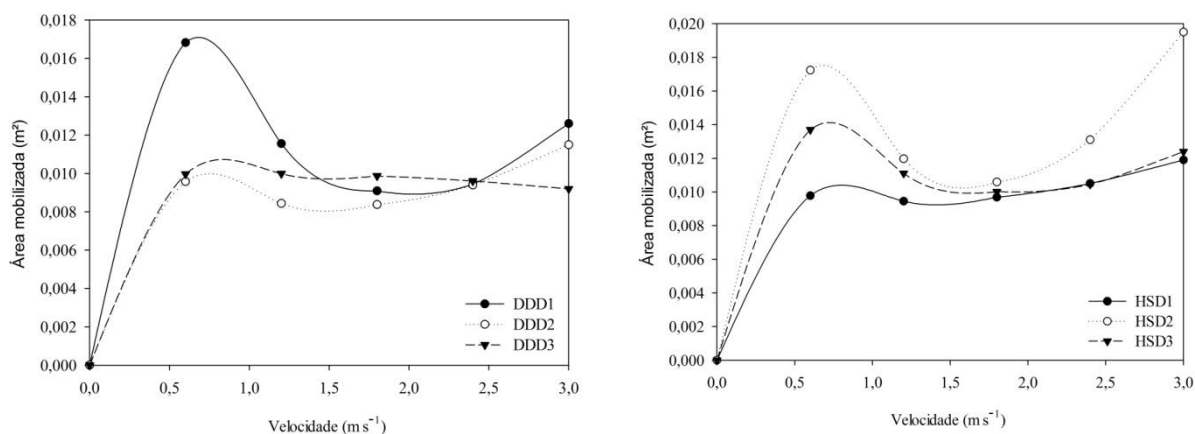
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,0039x^2 - 0,0158x + 0,0249$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,0078x - 0,0158$	89,55°
DDD2	$y = 0,0015x^2 - 0,0046x + 0,0118$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,003x - 0,0046$	89,83°
DDD3	$y = -0,0002x^2 + 0,0004x + 0,0098$	0,34	$\frac{dy}{dx} = -0,0004x + 0,0004$	90,02°
HSD1	$y = 0,0008x^2 - 0,002x + 0,0107$	0,32	$\frac{dy}{dx} = 0,0016x - 0,002$	89,91°
HSD2	$y = 0,0054x^2 - 0,01185x + 0,0264$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,0108x - 0,01185$	89,38°
HSD3	$y = 0,0021x^2 - 0,0081x + 0,0178$	0,97	$\frac{dy}{dx} = 0,0042x - 0,0081$	89,76°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Em função de apresentar um valor médio próximo à 90° da reta da primeira derivada para os distintos tratamentos, foi verificado que a velocidade de deslocamento não modificou a área de solo mobilizada na faixa de estudo deste fator, apesar de apresentar significância estatística.

A Figura 42 ilustra a modificação da área de solo mobilizada com base nas funções matemáticas.

Figura 42 - Representação gráfica da alteração da área mobilizada com base nas funções

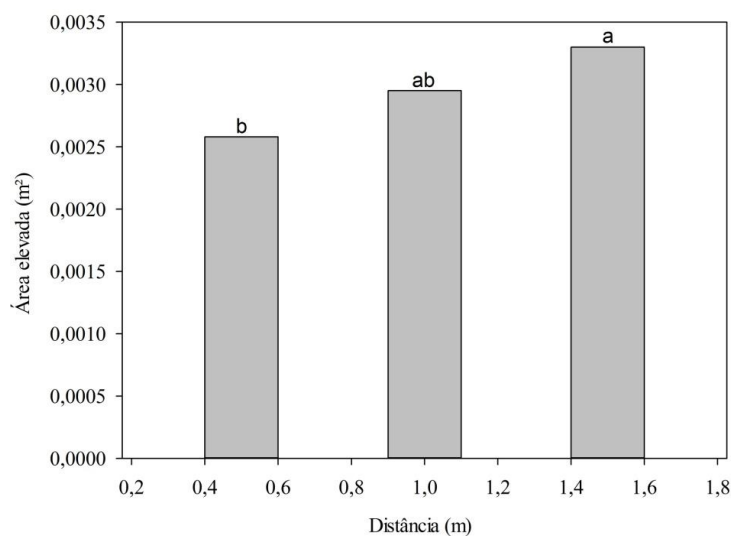


A compreensão da mudança da área de solo mobilizada em relação ao fator velocidade realizada por predição demonstra elevação desta variável com o incremento deste. Contudo, tal fato não ocorrerá em função da redução da profundidade máxima do sulco em condições de elevada velocidade, principalmente para a haste sulcadora. Fato este comprovado por Francetto et al. (2016c) ao avaliar interações entre sulcadores e discos de corte em sistema de semeadura direta do ponto de vista das variáveis de mobilização de solo.

4.2.2 Área de solo elevada

O valor médio de área de solo elevada para cada nível do fator distância e o resultado do teste de Tukey é ilustrado na Figura 43.

Figura 43 - Valor médio de elevação de solo para cada nível do fator distância



A diminuição da distância entre os mecanismos sulcadores e o disco de corte, proporcionaram redução significativa na elevação do solo, sendo verificada uma área aproximada de 30% menor na distância 1 (0,50 m) do que na 3 (1,50 m).

As funções que descrevem a alteração da área de solo elevada em função da velocidade, sua derivada e inclinação em relação o eixo y, são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Funções matemáticas da área elevada em função da velocidade¹⁴

	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = -0,0004x^2 + 0,0018x + 0,0003$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -0,0008x + 0,0018$	90,05°
DDD2	$y = -8E - 5x^2 + 0,0004x + 0,0021$	0,13	$\frac{dy}{dx} = -0,16E - 3x + 0,0004$	90,01°
DDD3	$y = 0,0002x^2 - 0,0009x + 0,0038$	0,83	$\frac{dy}{dx} = 0,0004x - 0,0009$	89,98°
HSD1	$y = -0,0009x^2 + 0,0037x - 0,0005$	0,97	$\frac{dy}{dx} = -0,0018x + 0,0037$	90,10°
HSD2	$y = -7E - 18x^2 + 0,0002x + 0,0029$	0,90	$\frac{dy}{dx} = -14E - 18x + 0,0002$	90,00°
HSD3	$y = 0,0013x^2 - 0,0049x + 0,0077$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 0,0026x - 0,0049$	89,85°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

A utilização da configuração mais distante entre sulcadores e mecanismo de corte apresentou mais suscetibilidade à alteração da área de solo elevada com o incremento da velocidade, apesar deste fator não ter interferido significativamente na variável. Contudo, como verificado na Figura 44, essa ocorrência pode ter advindo devido à projeção de solo para longe da região do sulco, por consequência da elevada velocidade de trabalho utilizada, o que demonstra que a variável, em determinadas condições de trabalho, pode não ser capaz de expressar as reais alterações ocorridas.

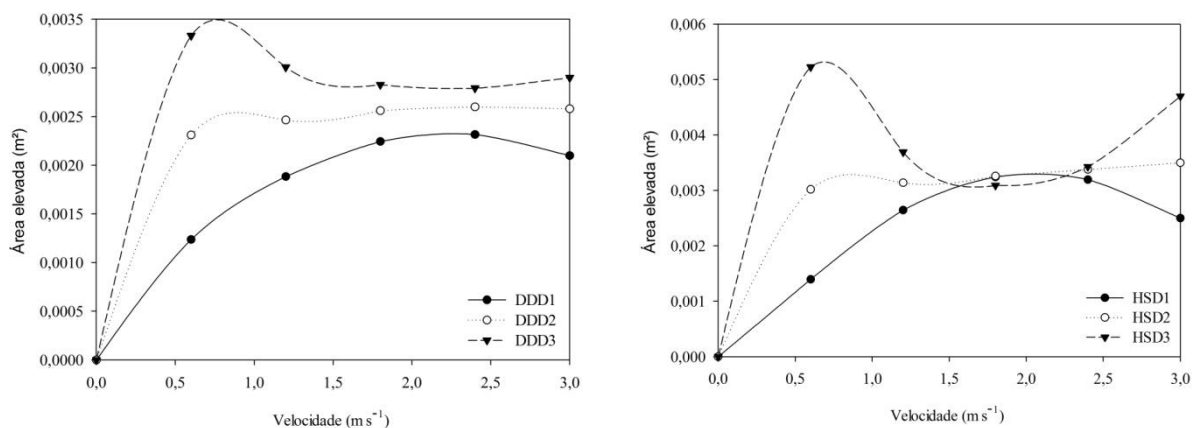
¹⁴ Notação científica E - Exemplo: $-8E - 5x^2 = -0,00008x^2$

Figura 44 - Redução do valor de área elevada por projeção de solo



A representação gráfica da elevação de solo com o incremento de velocidade com base nas funções matemáticas destas é ilustrada na Figura 45.

Figura 45 - Representação gráfica da área de solo elevada



A maior distância em ambos sulcadores, ao analisar sua interferência por predição, apresentou maior suscetibilidade ao aumento da área de elevação com o incremento da velocidade. Já o emprego da distância intermediária (1,0 m), nesta mesma condição, também para os dois sulcadores, demonstrou mais estabilidade ao longo do acréscimo da velocidade de deslocamento do que as demais, enquanto que a mais próxima, apesar de também proporcionar incremento com o acréscimo da velocidade, demonstrou pequena redução desta variável a partir de 2,5 m s⁻¹.

4.2.3 Profundidade máxima do sulco

O desdobramento da interação entre sulcador, distância e velocidade para a variável profundidade máxima do sulco é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Interação entre sulcador, distância e velocidade na profundidade

	Velocidade (m s ⁻¹)				Média (m)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
DDD1	0,0637 b	0,0595 b	0,0605 b	0,0569 b	0,0601
DDD2	0,0601 b	0,0564 b	0,0641 b	0,0616 b	0,0605
DDD3	0,0626 b	0,0636 b	0,0603 b	0,0625 b	0,0622
HSD1	0,1149 a	0,1108 a	0,1092 a	0,1102 a	0,1113
HSD2	0,1082 a	0,1108 a	0,1095 a	0,1157 a	0,1110
HSD3	0,1083 a	0,1150 a	0,1068 a	0,1084 a	0,1096

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

A profundidade máxima respondeu aos efeitos do tipo de sulcador sendo obtida média de 0,1106 m para a haste de 0,0610 m para o disco duplo, sendo obtidos os valores regulados para os mesmos. Os últimos apresentam uma menor profundidade de atuação conforme afirmam Palma et al. (2010) em função de que, além de sua característica dimensional, apresentam uma maior dificuldade de penetração no solo conforme destaca Seidi (2012). Estes resultados também foram obtidos por Koakoski et al. (2007) e Mion et al. (2009), sendo atribuídos ao fato de que a haste sulcadora atinge maior profundidade devido a ação da ponteira, a qual provoca um vetor descendente que tem tendência de succionar a haste.

A profundidade máxima média de ambos sulcadores reduziu-se com o aumento da velocidade, sendo estatisticamente significativa, atingindo 0,0863 m em 1,11 m s⁻¹ e 0,0858 m na velocidade de 2,78 m s⁻¹, quando analisados conjuntamente. Silveira et al. (2011) avaliando a profundidade de sulco de uma haste em uma operação de semeadura de milho, também identificou redução desta variável com o incremento da velocidade de deslocamento. Os autores destacam que este comportamento ocorre em função da sulcador fixo tende a mover-se mais perto da superfície em maiores velocidades, sendo a resistência à penetração, a umidade do solo e a rugosidade, as possíveis causas desta variação.

A alteração da profundidade máxima do sulco expressa matematicamente para cada interação, sua derivada e inclinação em relação o eixo y, entre fator sulcador e distância em função da velocidade é apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Modificação da profundidade expressa matematicamente

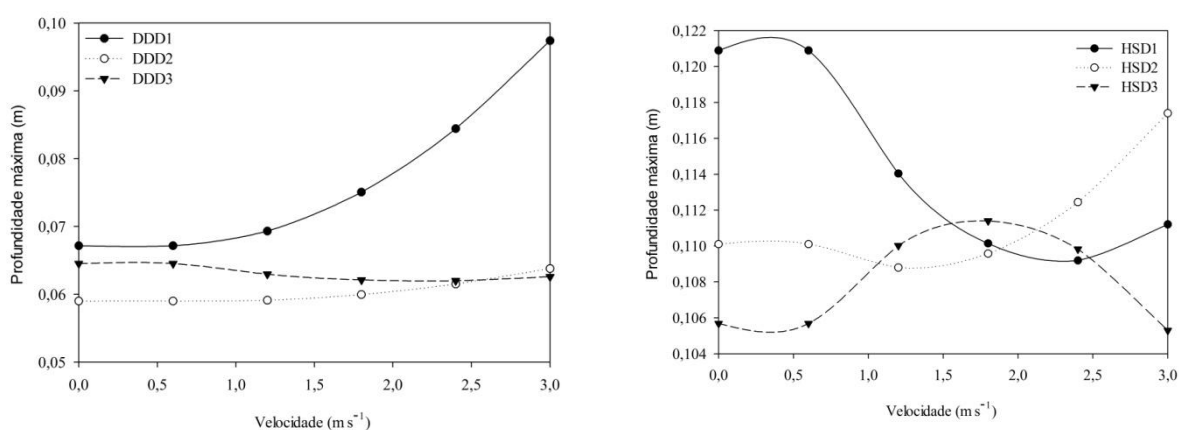
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,0005x^2 - 0,0054x + 0,0686$	0,80	$\frac{dy}{dx} = 0,001x - 0,0054$	89,94°
DDD2	$y = 0,001x^2 - 0,0016x + 0,0596$	0,24	$\frac{dy}{dx} = 0,002x - 0,0016$	89,89°
DDD3	$y = 0,001x^2 - 0,0044x + 0,0668$	0,17	$\frac{dy}{dx} = 0,002x - 0,0044$	89,89°
HSD1	$y = 0,0041x^2 - 0,0188x + 0,1307$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,0082x - 0,0188$	89,53°
HSD2	$y = 0,0029x^2 - 0,0074x + 0,1135$	0,80	$\frac{dy}{dx} = 0,0058x - 0,0074$	89,67°
HSD3	$y = -0,0041x^2 + 0,0146x + 0,0984$	0,24	$\frac{dy}{dx} = 0,0082x + 0,0146$	89,53°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

A influência da velocidade de deslocamento sobre a profundidade máxima do sulco foi semelhante para todas as configurações de sulcadores e distâncias, indicando que este fator não é limitante para a manutenção da variável em questão para o sistema de semeadura direta no solo estudado, indicando a possibilidade de utilização de velocidades de até $2,78 \text{ m s}^{-1}$.

A alteração da profundidade máxima em função da velocidade com base no emprego das funções matemáticas que a descrevem é exposta na Figura 46.

Figura 46 - Profundidade máxima em função da velocidade



Para o sulcador disco duplo o efeito da velocidade, nas configurações de distância 2 (1,00 m) e 3 (1,50 m), sobre a profundidade, demonstrou pequena elevação desta variável com o acréscimo do fator velocidade. Para a condição de menor distância (0,50 m), ocorreu

um acréscimo acima da faixa possível de ser realizado pelo mecanismo (máximo de 0,110 m), o que demonstra a necessidade de um ensaio com velocidade superior ao limite deste estudo para compreender seus efeitos.

Com o acréscimo da velocidade o sulcador haste estando distante em 1,50 m (D3) do disco de corte demonstrou redução elevada da profundidade de trabalho, passando a um valor inferior ao médio obtido pelo disco duplo. Já para as demais condições de distância ocorreram elevação em torno de 0,020 m neste variável, o que demonstra que este sulcador estando mais próximo do disco de corte tem a ação da ponteira facilitada em provocar um vetor descendente puxando a haste para o solo.

4.2.4 Largura máxima do sulco

Como esperado, o sulcador que trabalhou em uma maior profundidade criou sulcos mais largos, corroborando os resultados de Hasimu & Chen (2014). A haste sulcadora apresentou a maior largura máxima do sulco, com 0,2616 m, enquanto que o disco duplo proporcionou um sulco mais estreito, com 0,2518 m, sendo significativamente diferentes. Em contrapartida, a velocidade não interferiu nesta variável, visto que esta permaneceu em um valor médio de 0,2566 m, não sendo verificada diferença estatística entre os diferentes níveis.

As funções que descrevem as relações matemáticas, suas derivadas e inclinações em relação o eixo y, entre sulcador e distância em função da velocidade são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Funções matemáticas da modificação da largura do sulco

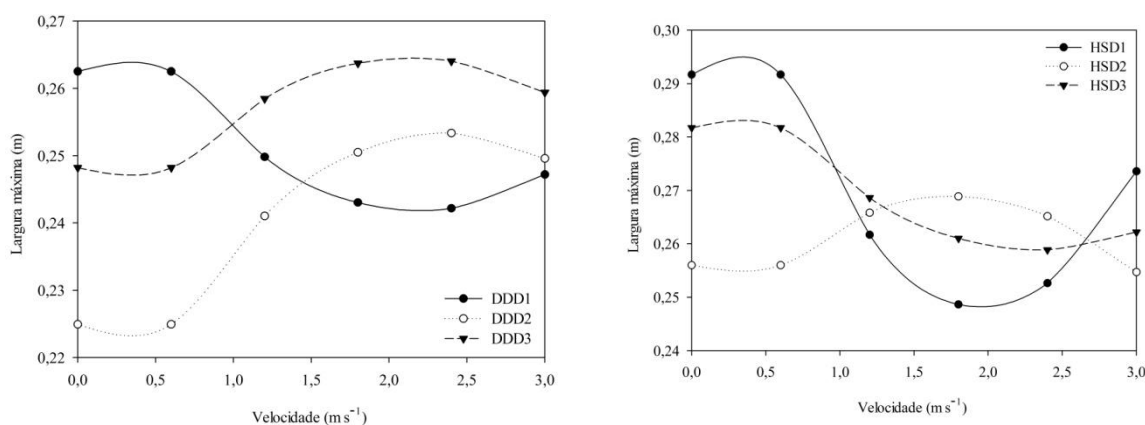
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,0082x^2 - 0,0359x + 0,2811$	0,67	$\frac{dy}{dx} = 0,0164x - 0,0359$	89,06°
DDD2	$y = -0,0092x^2 + 0,0434x + 0,2022$	0,64	$\frac{dy}{dx} = -0,0184x + 0,0434$	91,05°
DDD3	$y = -0,0069x^2 + 0,0295x + 0,233$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -0,0138x + 0,0295$	90,79°
HSD1	$y = 0,0236x^2 - 0,0925x + 0,3387$	0,26	$\frac{dy}{dx} = 0,0472x - 0,0925$	87,30°
HSD2	$y = -0,0094x^2 + 0,0333x + 0,2394$	0,24	$\frac{dy}{dx} = -0,0188x + 0,0333$	91,08°
HSD3	$y = 0,0076x^2 - 0,0355x + 0,3003$	0,50	$\frac{dy}{dx} = 0,0152x - 0,0355$	89,13°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Os coeficientes de determinação obtiveram média de 55,00%, sendo que DDD3 foi a que apresentou a melhor proximidade para a função, com 99,00%. De maneira geral, para o sulcador disco duplo foi verificado um valor médio de 76,67%, enquanto que para a haste este valor foi de apenas 33,33%. Dessa forma, as averiguações para a largura máxima promovida pelo sulcador disco duplo terão mais correspondência efetiva com os valores reais que os valores obtidos para a haste sulcadora. Contudo, tendo em vista o baixo valor médio do coeficiente de determinação para as distintas configurações, as verificações por predição terão pequena equivalência efetiva com os valores reais.

A Figura 47 ilustra a alteração da largura do sulco para ambos os sulcadores em função da velocidade de deslocamento.

Figura 47 - Ilustração da alteração da largura do sulco



Para ambos sulcadores a configuração que emprega a menor distância para o mecanismo de corte promoverá aumento na largura máxima do sulco em situações de velocidades superiores a $2,78 \text{ m s}^{-1}$, visto que o tempo para o retorno do solo ao sulco, posteriormente ao corte do disco, é reduzido. Já para as demais configurações de distância para o disco duplo e na maior (1,50 m) para a haste, a tendência é de redução da largura. Dessa forma, a seleção da distância oferece alteração na profundidade sob o efeito de elevadas velocidades, o que indica a necessidade de se empregar valores inferiores a $2,78 \text{ m s}^{-1}$.

4.3 Variáveis secundárias

A Tabela 27 apresenta a análise estatística, com os valores médios para cada nível dos fatores e o resultado do teste de Tukey para as variáveis secundárias.

Tabela 27 - Análise estatística para as variáveis secundárias

Fatores	Variáveis			
	Ce (g kWh ⁻¹)	Em (%)	Reo (kN m ⁻²)	Fe (kN m ⁻¹)
SULCADOR				
Disco duplo (DD)	0,96 a	27,49 a	166,93 b	26,09 a
Haste sulcadora (HS)	0,64 b	30,68 a	231,07 a	22,69 b
DISTÂNCIA (m)				
0,5 (D1)	0,82 a	25,94 b	192,36 b	23,18 b
1,0 (D2)	0,79 a	27,82 b	189,73 b	24,50 ab
1,5 (D3)	0,79 a	33,48 a	214,91 a	25,49 a
VELOCIDADE				
1,11 m s ⁻¹ (V1)	1,39 a	27,13 a	151,58 c	19,18 d
1,67 m s ⁻¹ (V2)	0,85 b	31,65 a	201,56 b	21,97 c
2,22 m s ⁻¹ (V3)	0,57 c	29,48 a	204,92 b	24,74 b
2,78 m s ⁻¹ (V4)	0,38 d	28,05 a	237,94 a	31,67 a
CV e MG				
CV (%)	14,86	27,37	18,91	11,63
Média geral (MG)	0,80	29,08	198,99	24,39
Teste F				
Sulcador (F1)	264,79**	2,87 ns	104,58**	51,79**
Distância (F2)	0,85ns	5,83**	6,49**	8,08**
Velocidade (F3)	500,13**	1,10 ns	32,25**	128,39**
F1 x F2	1,30 ns	4,21*	9,22**	1,39 ns
F1 x F3	15,90**	0,27 ns	5,65**	2,01 ns
F2 x F3	1,11 ns	1,66 ns	6,60**	3,69**
F1 x F2 x F3	0,38 ns	0,48 ns	0,88 ns	0,50 ns

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey ($p < 0,05$).

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * : Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns: Não significativo ($p > 0,05$); Ce: Consumo específico de combustível; Em: Empolamento do solo; Reo: Resistência específica operacional; Fe: Força de tração específica.

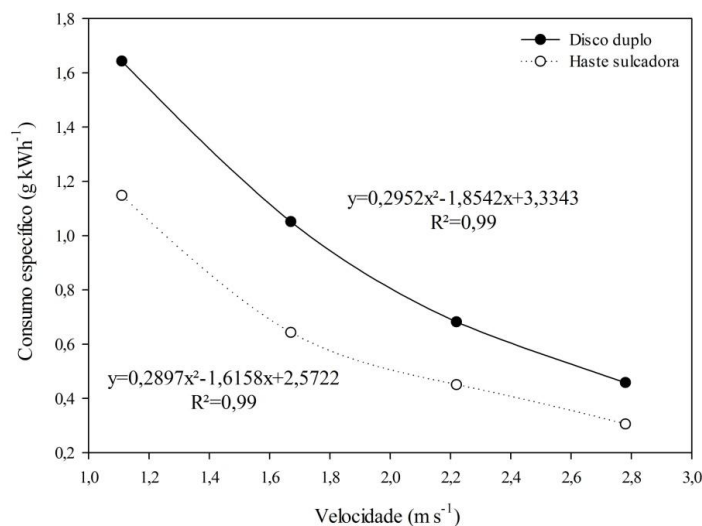
A modificação dos fatores sulcador e velocidade não proporcionaram alteração significativa apenas na variável empolamento do solo, enquanto que a distância não modificou o consumo específico de combustível.

Em virtude das variáveis secundárias serem oriundas da razão entre variáveis primárias independentes, o coeficiente de variação obtido para este grupo foi superior aos demais, com média de 18,19%. O maior valor foi verificado para o empolamento do solo, com 27,37%, em função de este ser encontrado da razão entre variáveis de mobilização unitárias de área, enquanto que o menor foi para a força de tração específica, com 11,63%.

4.3.1 Consumo específico de combustível

A modificação do consumo específico de combustível para ambos os sulcadores em função da velocidade de deslocamento é ilustrada na Figura 48.

Figura 48 - Comportamento do consumo específico de combustível em função da velocidade



Para ambos sulcadores o incremento da velocidade de deslocamento proporcionou redução significativa do consumo específico de combustível. Tal fato pode estar associado ao fato de que o aumento da velocidade proporciona maior incremento da demanda da potência do que acréscimo no consumo horário. Como resultado, aconteceu melhor aproveitamento da energia liberada pelo combustível nas maiores velocidades, já que foi necessário menor massa deste para originar a mesma quantidade de energia.

As médias de interação e o resultado do teste de médias entre o fator sulcador e velocidade são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Consumo específico de combustível para cada nível de velocidade

Sulcador	Velocidade (m s ⁻¹)				Média (g kWh ⁻¹)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Disco duplo	1,64 a	1,05 a	0,68 a	0,46 a	0,95
Haste sulcadora	1,15 b	0,64 b	0,45 b	0,31 b	0,64

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

O sulcador disco duplo foi o elemento abridor de sulco que apresentou o maior consumo específico de combustível, com diferença média de $0,32 \text{ g kWh}^{-1}$ representando 33,55%, para a haste sulcadora, sendo esta alteração estatisticamente significativamente, independentemente dos níveis do fator velocidade. Dessa forma, este último sulcador foi mais eficiente no uso da energia gerada pelo combustível em todas as velocidades de deslocamento, apresentando uma eficiência média de 34,00% superior ao sulcador disco duplo.

A modificação do consumo específico de combustível expressa matematicamente para cada sulcador e as configurações de distância influenciada pela velocidade de deslocamento, suas derivações e inclinação da reta em relação o eixo y, são apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação do consumo específico

	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 0,3156x^2 - 1,9237x + 3,4048$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,6315x - 1,9237$	57,73°
DDD2	$y = 0,3259x^2 - 1,9773x + 3,4564$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,6518x - 1,9773$	56,90°
DDD3	$y = 0,2439x^2 - 1,661x + 3,1412$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,4878x - 1,661$	64,00°
HSD1	$y = 0,3914x^2 - 2,0482x + 3,0046$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 0,7828x - 2,0482$	51,95°
HSD2	$y = 0,2902x^2 - 1,5906x + 2,4951$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,5804x - 1,5906$	59,87°
HSD3	$y = 0,1873x^2 - 1,2085x + 2,2167$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 0,3746x - 1,2085$	69,46°

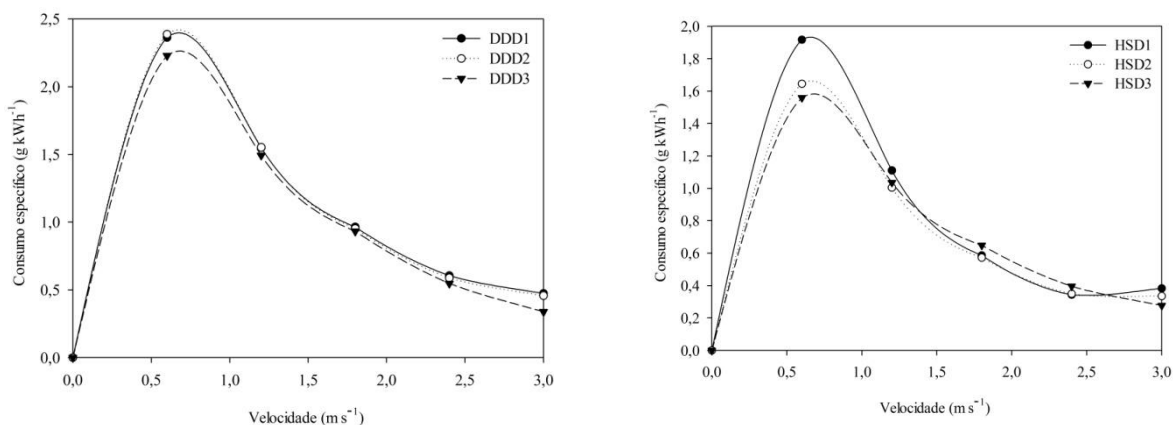
DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Foi obtido um valor médio de 98,83% para os coeficientes de determinação das funções matemáticas que descrevem a mudança do consumo específico em função da velocidade, o que viabilidade o emprego destas para constatações por predição.

Tendo em vista que o incremento da distância propiciou uma ampliação significativa da demanda da potência e em um acréscimo no consumo horário de combustível, as configurações mais distantes entre sulcadores e disco de corte foram as que apresentaram as menores influências da velocidade sobre a variável de consumo específico.

A Figura 49 expõe a modificação gráfica das funções com base no aumento da velocidade de deslocamento.

Figura 49 - Representação gráfica da alteração do Ce com base nas funções

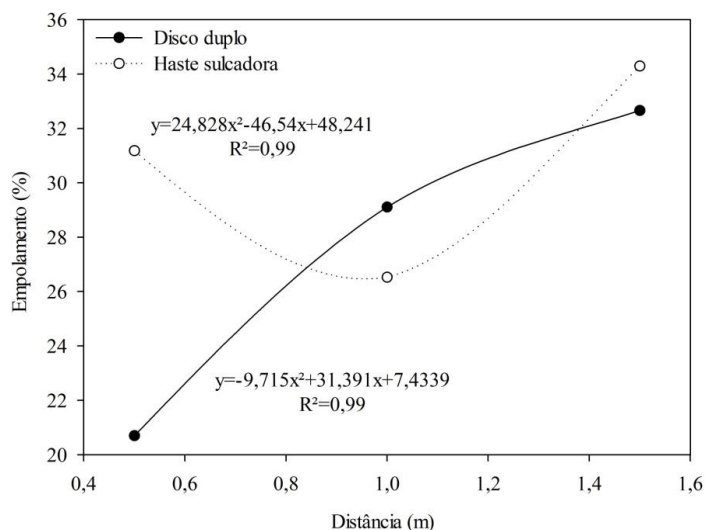


Foi evidenciada uma elevação na eficiência (redução do consumo específico) no uso da energia gerada pelo consumo do combustível, independentemente do sulcador usado, o que pode estar atrelado ao maior aumento da demanda de potência do que do consumo horário de combustível, ocorridas nestas condições.

4.3.2 Empolamento do solo

A empolamento do solo para o sulcador disco duplo e haste sulcadora em função da distância destes para o mecanismo de corte é ilustrada na Figura 50.

Figura 50 - Comportamento do empolamento do solo em função da distância



A haste sulcadora, em comparação ao disco duplo, foi o que apresentou o maior empolamento, com 30,67% para o primeiro e 27,49% para o segundo. Esta diferença representa um acréscimo de 11,57% no aumento de volume do solo. Tal resultado se deve a haste sulcadora proporcionar um maior índice de vazios entre as partículas do solo do que os discos duplos, resultado da ação de cisalhamento realizado por este e não de corte do solo.

O empolamento do solo apresentou acréscimo para ambos os sulcadores em função da elevação da distância. Para a condição do disco duplo a distância de 0,50 m e da haste sulcadora na distância 1,0 m, os valores foram abaixo do esperado em função da baixa área de solo mobilizada proporcionada por essas configurações, estando este fato associado às alterações físicas do solo no local de estudo.

A Tabela 30 apresenta o teste de média da variável empolamento do solo para o sulcador disco duplo e haste sulcadora.

Tabela 30 - Empolamento do solo para cada nível de distância

Sulcador	Distância (m)			Média (%)
	0,50	1,00	1,50	
Disco duplo	20,70 b	29,11 a	32,66 a	27,49
Haste sulcadora	31,18 a	26,53 a	34,30 a	30,67

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

O fator distância proporcionou alteração significativa no empolamento do solo, sendo obtido um valor médio de aproximadamente 30% para os distintos sulcadores no aumento do volume de solo, na qual a condição mais próxima destes com o disco de corte proporcionou um valor médio de 25,94% e a mais distante 33,48%. Para o sulcador disco duplo ocorreu redução desta variável com a diminuição da distância entre as ferramentas, enquanto que para a haste essa tendência foi verificada apenas quando comparada a distância 3 (1,50 m) com a 1 (0,50 m). Para o respectivo sulcador na distância intermediária (1,0 m) foi verificado um erro experimental, visto a reduzida área de solo mobilizada encontrada, estando esta associada a variabilidade nas características físicas locais do solo.

A modificação do empolamento do solo para as interações entre sulcadores e distâncias em função da velocidade de deslocamento, expressas matematicamente, suas derivações e inclinação da reta em relação o eixo y, são apresentadas na Tabela 31.

Tabela 31 - Expressões matemáticas que descrevem a modificação do empolamento

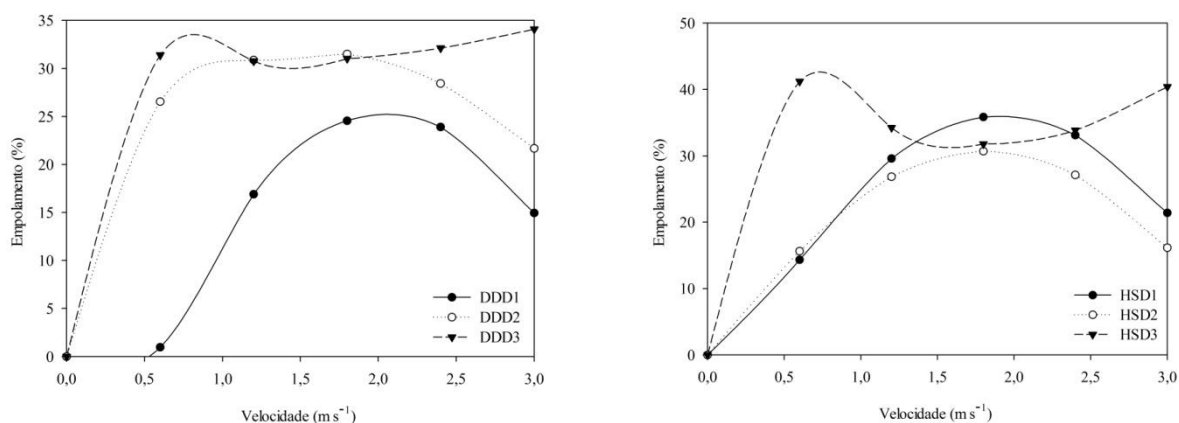
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = -11,529x^2 + 47,33x - 23,288$	0,98	$\frac{dy}{dx} = -23,058x + 47,33$	177,52°
DDD2	$y = -5,1266x^2 + 16,431x + 18,528$	0,55	$\frac{dy}{dx} = -10,2532x + 16,431$	174,43°
DDD3	$y = 1,197x^2 - 3,1839x + 32,864$	0,21	$\frac{dy}{dx} = 2,394x - 3,1839$	22,67°
HSD1	$y = -12,487x^2 + 47,891x - 9,9065$	0,44	$\frac{dy}{dx} = 24,974x + 47,891$	2,29°
HSD2	$y = -10,288x^2 + 37,2526x - 3,031$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -20,576x + 37,2526$	177,22°
HSD3	$y = 6,263x^2 - 22,88x + 52,682$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 12,526x - 22,88$	4,56°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

As configurações mais distantes do mecanismo de corte para ambos os sulcadores, apresentaram maior influência sobre a variável empolamento do solo, juntamente com a HD1 (haste sulcadora na distância 0,5 m), com mais significância para o sulcador haste.

A Figura 51 ilustra a alteração do empolamento de solo com base nas funções matemáticas que a descrevem.

Figura 51 - Representação gráfica da alteração do empolamento com base nas funções

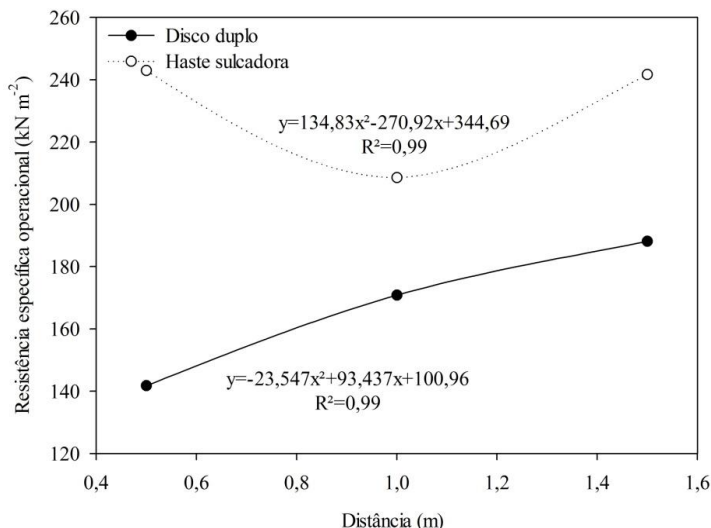


Em função de o empolamento ser oriundo da razão entre área de solo elevada e mobilizada, e ambas não sofrerem alterações devido ao acréscimo na velocidade, este também não apresentou diferenças estatísticas quando avaliado o fator velocidade.

4.3.3 Resistência específica operacional

A resistência específica operacional em função do fator distância, para ambos os sulcadores, é ilustrada na Figura 52.

Figura 52 - Comportamento da resistência específica operacional em função da distância



A resistência específica operacional apresentou elevação com o incremento da distância entre o mecanismo de corte e os sulcadores, o que está relacionada ao aumento da demanda de tração e manutenção da área de solo mobilizada proporcionada por este fator.

A Tabela 32 apresenta o teste de média da resistência específica operacional entre o fator sulcador e distância.

Tabela 32 - Resistência específica operacional dos sulcadores para cada nível de distância

Sulcador	Distância (m)			Média (kN m ⁻²)
	0,50	1,00	1,50	
Disco duplo	141,79 b	170,85 b	188,13 b	166,92
Haste sulcadora	242,94 a	208,60 a	241,68 a	231,07

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

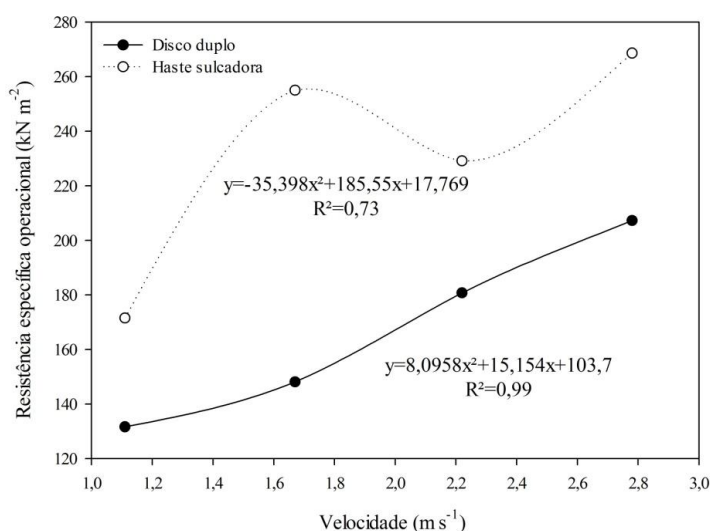
O fator distância proporcionou mudança significativa na variável resistência específica operacional para ambos os sulcadores. Para o disco duplo, foi verificado ampliação de 20,50% quando a distância passou de 0,50 para 1,0 m e de 10,11% quando modificada desta última para a maior distância. Já para a haste, tendo em vista a elevada área de solo

mobilizada encontrada na distância 1,0 m, a Reo apresentou redução quando o fator passou de 0,50 m para a distância 2, sendo este fato atrelado à variabilidade local do solo e não da interação em o fator sulcador e distância.

Além disso, o uso de tração por unidade de solo mobilizada foi maior para as configurações com o sulcador tipo haste sulcadora, sendo em média aproximadamente 40% maior que as com disco duplo.

A resistência específica operacional em função do fator velocidade, para ambos os sulcadores, é ilustrada na Figura 53.

Figura 53 - Comportamento da resistência específica operacional em função da velocidade



Para todas as velocidades de deslocamento o mecanismo disco duplo apresentou mais eficiência no uso da tração por unidade de solo mobilizado que a haste sulcadora, sendo aproximadamente 40% superior em média. Francetto et al. (2016b) ao avaliar as associações de discos de corte com os modelos de sulcadores semelhantes, evidenciou que a haste foi 9% mais eficiente que os discos duplos em um solo franco arenoso (53,97% de areia e 17,59% de argila) com densidade média de $1,64 \text{ g cm}^{-3}$. Dessa forma, esta menor eficiência da haste pode estar associada a maior presença de argila (20,40%), redução do teor de areia (31,70%) e elevada densidade ($1,89 \text{ g cm}^{-3}$) no solo do experimento, proporcionando uma menor área de solo mobilizada e aumento da demanda de tração, o que acarretou em uma maior Reo.

A Tabela 33 apresenta o desdobramento da interação entre o fator sulcador e a velocidade sobre a variável resistência específica operacional.

Tabela 33 - Resistência específica operacional dos sulcadores para cada nível de velocidade

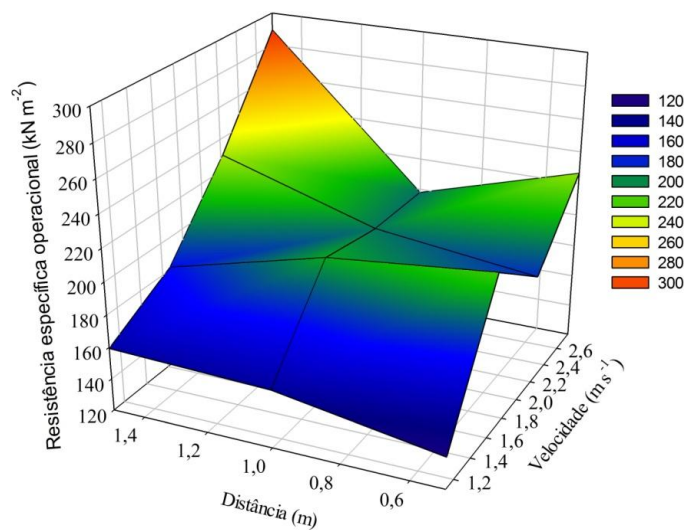
Sulcador	Velocidade (m s^{-1})				Média (kN m^{-2})
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Disco duplo	131,63 b	148,12 b	170,70 b	207,25 b	164,42
Haste sulcadora	171,52 a	255,01 a	229,14 a	268,62 a	231,07

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

O incremento da velocidade propiciou aumento significativo sobre a resistência específica, indo de encontro ao que Gassen et al. (2014) encontraram ao estudar a operação de escarificação e de Francetto et al. (2016b) ao avaliar o desempenho de sulcadores associados a distintos discos de corte. Isso pode ser explicado em virtude da maior demanda de tração requerida pelas combinações nas velocidades mais elevadas, já que não houve incremento da área mobilizada.

O comportamento da resistência específica operacional em função da modificação da velocidade de deslocamento e da distância é ilustrado na Figura 54.

Figura 54 - Superfície de resposta da resistência específica operacional



Foi verificado um valor médio de $194,15 \text{ kN m}^{-2}$ para os distintos sulcadores nas velocidades de $1,11$ a $2,22 \text{ m s}^{-1}$ nas distâncias de $0,5$ e $1,0 \text{ m}$. Todavia, quando integrado o fator velocidade e distância nos seus maiores níveis ($2,78 \text{ m s}^{-1}$ e $1,5 \text{ m}$), a variável apresentou valor médio de $310,54 \text{ kN m}^{-2}$, sendo aproximadamente 60% superior ao valor médio das demais condições obtidas. Dessa forma, a integração entre estes dois fatores é significativa, independentemente dos seus níveis. Contudo, apresenta demasiada interferência na variável

quando ambos os fatores trabalham em nível elevados, causando demasiada redução na eficiência de uso da tração por unidade de solo mobilizada.

A função obtida que descreve a resistência específica operacional conforme modificação da distância entre o mecanismo de corte e sulcador e a velocidade de trabalho do conjunto é apresentada na Equação 19.

$$z = 84,404 - 88,567x + 100,446y + 55,555x^2 - 13,674y^2 \quad (R^2=0,83) \quad (19)$$

Onde:

z =resistência específica operacional (kN m^{-2})

x =distância (m)

y =velocidade (m s^{-1})

A Tabela 34 apresenta as funções matemáticas, suas respectivas derivadas e a inclinação desta reta em relação o eixo y que descrevem a resistência específica operacional das associações.

Tabela 34 - Funções matemáticas que descrevem a resistência específica operacional

	Função matemática	R^2	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = -25,482x^2 + 136,61x - 17,665$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -50,964x + 136,61$	$179,88^\circ$
DDD2	$y = -2,61x^2 + 32,093x + 119,31$	0,99	$\frac{dy}{dx} = -5,22x + 32,093$	$169,16^\circ$
DDD3	$y = 52,379x^2 - 123,24x + 209,44$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 104,758x - 123,24$	$0,55^\circ$
HSD1	$y = -34,445x^2 + 179,96x + 36,527$	0,39	$\frac{dy}{dx} = -68,89x + 179,96$	$179,17^\circ$
HSD2	$y = -80,188x^2 + 332,6x - 103,97$	0,77	$\frac{dy}{dx} = -160,376x + 332,6$	$179,64^\circ$
HSD3	$y = 8,44x^2 + 44,085x + 120,74$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 16,88x + 44,085$	$3,39^\circ$

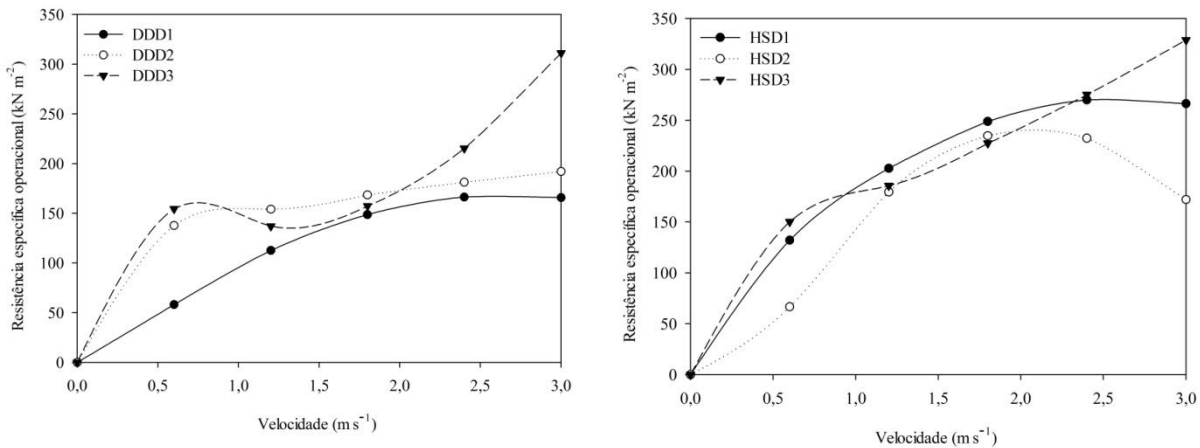
DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

Em ambos sulcadores a configuração mais distante do mecanismo de corte foi a que a velocidade de deslocamento apresentou maior influência sobre a variável resistência

específica operacional, com mais significância para o sulcador disco duplo. Para as demais configurações, esta interferência foi semelhante, sendo diminutamente menor para a haste.

A representação gráfica do desempenho das associações quanto a resistência específica operacional com o incremento da velocidade de deslocamento é ilustrada na Figura 55.

Figura 55 - Representação gráfica das funções das associações sobre a variável Reo



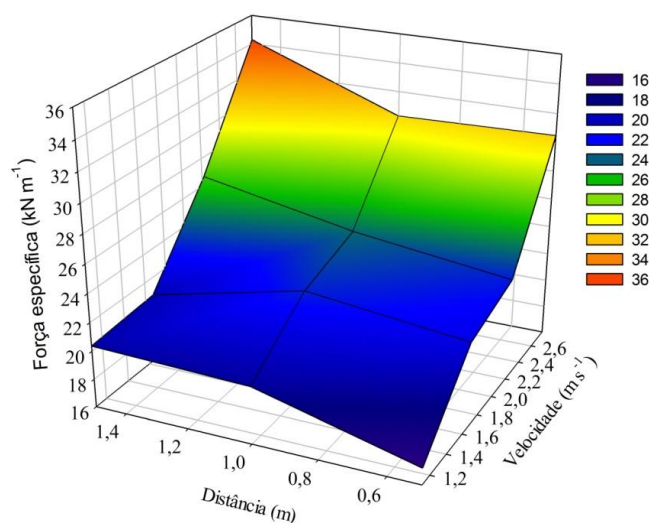
Ao se aumentar a velocidade de deslocamento verificou-se uma perda da eficiência no uso da tração por unidade de solo, principalmente para os sulcadores configurados a 1,50 m do mecanismo de corte. Para os demais, visto a redução da demanda de tração e manutenção da área mobilizada, a variável resistência específica apresentou redução.

4.3.4 Força de tração específica

Todos os fatores apresentaram influência significativa ao nível de 1% de probabilidade sobre a demanda de força de tração específica, sendo que seus efeitos sobre esta variável não é atribuída aos fatores isolados e sim pela interação entre eles.

O comportamento da força de tração específica em função da alteração da distância entre os mecanismos e da velocidade de trabalho é exposta na Figura 56.

Figura 56 - Superfície de resposta da força de tração específica



Os efeitos da distância e da velocidade sobre a força específica foram significativos, porquanto as consequências sobre esta variável não é atribuída a estes fatores isolados e sim pela interação entre eles, o que indica que a seleção do mecanismo sulcador não oferece modificação sobre a tendência da variável. Dessa forma, o incremento dos dois fatores proporcionou aumento da demanda de força de tração por profundidade de trabalho.

A função obtida, que descreve a demanda de tração específica em função da variação da distância entre sulcador e disco de corte dos resíduos culturais, bem como a velocidade de trabalho desta associação, é apresentada na Equação 20.

$$z = 18,76 + 3,653x - 5,725y - 0,667x^2 + 3,332y^2 \quad (R^2=0,97) \quad (20)$$

Onde:

z =força específica (kN m^{-1})

x =distância (m)

y =velocidade (m s^{-1})

A Tabela 35 apresenta as funções matemáticas, suas respectivas derivadas e a inclinação desta reta em relação o eixo y que descrevem a demanda de força de tração das associações.

Tabela 35 - Funções matemáticas que descrevem a demanda de força de tração específica

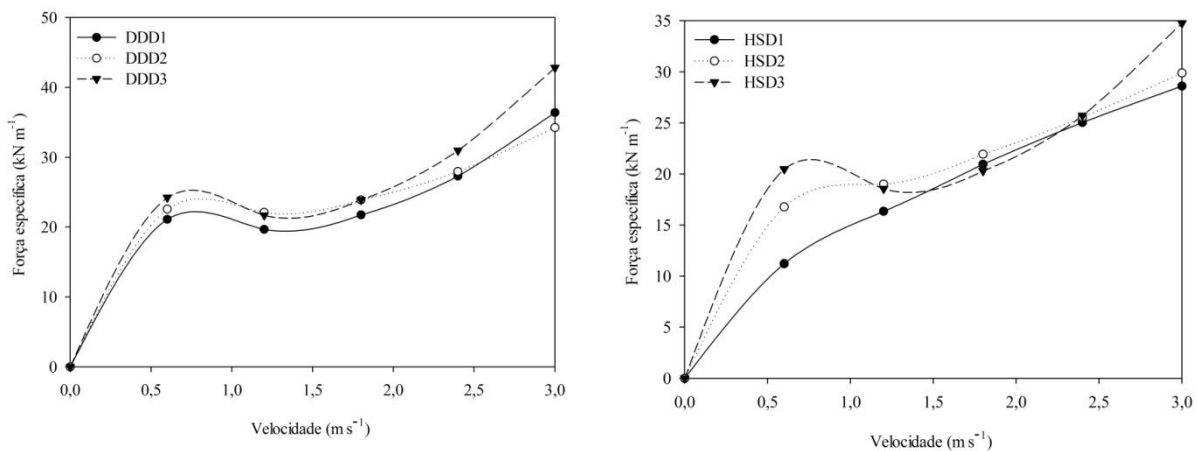
	Função matemática	R ²	Primeira derivada da função	Inclinação
DDD1	$y = 4,8682x^2 - 11,164x + 26,057$	0,95	$\frac{dy}{dx} = 9,7364x - 11,164$	5,86°
DDD2	$y = 3,1268x^2 - 6,3959x + 25,286$	0,98	$\frac{dy}{dx} = 6,2536x - 6,3959$	9,09°
DDD3	$y = 6,6688x^2 - 16,27x + 31,594$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 13,3376x - 16,27$	4,29°
HSD1	$y = -0,7291x^2 + 9,8688x + 5,5576$	0,95	$\frac{dy}{dx} = -1,4582x + 9,8688$	145,56
HSD2	$y = 0,9715x^2 + 1,9618x + 15,256$	0,95	$\frac{dy}{dx} = 1,943x + 1,9618$	27,23°
HSD3	$y = 5,0849x^2 - 12,351x + 26,059$	0,99	$\frac{dy}{dx} = 10,1698x - 12,351$	5,62°

DDD1: Disco duplo e distância 1; DDD2: Disco duplo e distância 2; DDD3: Disco duplo e distância 3; HSD1: Haste sulcadora e distância 1; HSD2: Haste sulcadora e distância 2; HSD3: Haste sulcadora e distância 3.

As configurações mais distantes foram as que demonstraram maiores influência da velocidade de deslocamento sobre a variável força de tração específica, sendo que o sulcador disco duplo sofreu interferência maior, independentemente da distância, que a haste sulcadora. Contudo, a modificação da distância para o maior nível (1,50 m) proporcionou maior alteração desta tendência para o sulcador haste do que a disco duplo.

As representações gráficas das funções matemáticas que descrevem a demanda de força de tração específica dos sulcadores para as diferentes configurações de distância para o mecanismo de corte são ilustradas na Figura 57.

Figura 57 - Representação gráfica das funções das configurações para a variável Fe



O incremento da velocidade de deslocamento de deslocamento proporcionou elevação da força de tração específica corroborando com os resultados obtidos por Francetto et al. (2016b), o que indica uma necessidade mais criteriosa para a escolha desta, a fim de se evitar a formação do sulco de forma inadequada a deposição do fertilizante, assim como prejudicar a ação do demais elementos da relação máquina/solo subsequentes ao sulcador de fertilizante. O aumento da velocidade de 1,11 para 1,67 m s^{-1} , e desta primeira para a de 2,22 m s^{-1} , apresentou uma elevação média de aproximadamente 15%. Já quando comparado com a maior velocidade (2,78 m s^{-1}) este incremento ficou próximo dos 30% de elevação na demanda de tração por unidade de profundidade.

Além disso, o sulcador disco duplo apresentou maior demanda de tração por unidade de profundidade (26,06 kN m^{-1}) do que a haste sulcadora (22,69 kN m^{-1}), sendo em média 15% superior.

5 CONCLUSÃO

Os tratamentos definidos pelos mecanismos de abertura de sulco, pelas distâncias longitudinais entre estes e o disco de corte e pelas velocidades de deslocamento afetaram significativamente o esforço trator, o consumo horário de combustível e o patinamento, sendo estas variáveis mais elevadas para as configurações que empregam a haste sulcadora, apresentam maior distância entre disco de corte e sulcador e trabalham em maiores velocidades, confirmando as hipóteses I e II.

A área de solo mobilizada sofreu alteração apenas do fator sulcador, sendo maior para a haste sulcadora, e a modificação da distância e da velocidade mostraram-se extrínsecas a esta variável, confirmando a hipótese III.

A redução da distância entre mecanismo de corte e sulcadores proporcionou redução na elevação do solo, sendo esta variável maior para as associações que empregaram o sulcador tipo haste, confirmando a hipótese IV.

A largura e profundidade máxima do sulco foram afetadas apenas pelo fator sulcador, não apresentando interferência da distância e da velocidade sobre estas variáveis.

O disco duplo apresentou maior eficiência no uso da tração por unidade de solo mobilizada, sendo que o aumento da distância e da velocidade prejudicaram a resistência específica operacional para ambos sulcadores.

A haste sulcadora foi mais eficiente no uso da tração por unidade de profundidade, sendo que, também para o sulcador disco duplo, a utilização de distância e velocidade menores propiciam elevação nesta competência.

As velocidades 2,22 e 2,78 m s⁻¹, independentemente do tipo de mecanismo sulcador e da configuração de distância deste para o disco de corte, não são recomendadas para processos de semeadura, devido a estas apresentarem maior requerimento de tração, potência na barra e consumo horário de combustível.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. P. de; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. da; OLIVEIRA, S. A. de. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1227-1237, 2008.

ALONÇO, A. dos S.; MARINI, V. K.; MASSOCO, D. B.; PINHEIRO, E. D. Avaliação técnica de uma máquina para a correção de microrrelevo do solo de áreas destinadas ao cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1643-1646, 2006.

ALTIKAT, S.; CELIK, A. Effects of different no-till seeders and tractor forward speeds on the soil physical properties and seed emergence of summer vetch and winter wheat. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 8, p. 21-30, 2012.

ALTIKAT, S.; CELIK, A.; GOZUBUYUK, Z. Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 72-77, 2013.

ALTUNTAS, E.; OZGOZ, E.; TASER, O. F.; TEKELIOGLU, O. Assessment of different types furrow openers using a full automatic planter. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 537-542, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE. Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards**. St. Joseph: EP 496.3, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASAE. Terminology for soil-engaging components for conservation-tillage planters, drills and seeders. In: **ASAE Standards**. St. Joseph, Michigan, 2006. p. 363-369. (ASAE S477 DEC2001).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASAE. Agricultural machinery management data. In: **ASAE Standards**. St. Joseph, Michigan, 2006. p. 390-398. (ASAE D497.5 FEB2006).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards**. St. Joseph, Michigan, 2006. p. 384-390. (ASAE EP496.3 FEB2006).

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**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado 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. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 768-776, 2006.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 3, p. 495-504, 2004.

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

ARVIDSSON, J.; HILLERSTRÖM, O. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 154-160, 2010.

ARVIDSSON, J.; KELLER, T.; GUSTAFSSON, K. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. **Soil & Tillage Research**, v. 79, p. 221-231, 2004.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 3 ed., Piracicaba, 2005. 310 p.

BELLÉ, M. P.; ALONÇO, A. dos S.; FRANCETTO, T. R.; ROSSATO, F. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 551-558, 2014.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, 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**, v. 28, p.155-163, 2004.

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**, v. 21, p. 257-262, 1997.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.

BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 79-87, 2012.

BOLLER, W. **Desenvolvimento de complementos para semeadoras em solo sob preparo reduzido**. 1990. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.

BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, p. 122-130, 2006.

BRANDELERO, E. M.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. Mobilização do solo e profundidade de semeadura por diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em uma semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 254-262, 2014.

CASÃO JÚNIOR, R. Conheça sua plantadeira e prepare-a adequadamente. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, ago. 2008.

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

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; RALISCH, R.; SILVA, A. L. da; LADEIRA, A. de S.; SILVA, J. C. da; MACHADO, P.; ROSSETTO, R. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2580 PD no basalto paranaense**. Circular Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, n. 105, p. 1-46, 1998.

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

CASE IH AGRICULTURE. **Semeadora SOL T13 em campo**, 2015, il. color.

CELIK, A.; ALTIKAT, S. Seeding performances of no-till seeders equipped with different furrow openers, covering components and forward speeds for winter wheat. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 18, p. 226-238, 2012.

CEPIK, C. T. C. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CEPIK, C. T. C., TREIN, C. R., LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 447-457, 2005.

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

CHAUDHURI, D. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills - a Review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, p. 125-137, 2001.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil & Tillage Research**, v. 117, p. 17-27, 2011.

CHEN, Y.; MUNKHOLM, L. J.; NYORD, T. Selection of design parameters for a slurry injection tool. **Transactions of the ASABE**, v. 56, p. 1653-1663, 2013a.

CHEN, Y.; MUNKHOLM, L. J.; NYORD, T.; A discrete element model for soil-weep interaction in there different soils. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 34-41, 2013b.

CHIODEROLI, C. A.; FURLANI, C. E. A.; AGUIAR, A. O.; CAVICHIOLI, F. A.; CASSIA, M.T. Operational parameters of soybean seeding in santa fe system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, 2012.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

COLLINS, B. A.; FOWLER, D. B. Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil & Tillage Research**, v. 39, p. 199-211, 1996.

CONTE, O. **Mecanismos rompedores e rodas compactadoras de semeadora-adubadora para cultura do milho (*Zea mays L.*) em plantio direto**. 2011. 152 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H.; STURMER, S. L. K.; MAZURANA, M.; MULLER, J. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil & Tillage Research**, v. 144, p. 37-42, 2011.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização do solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1254-1261, 2009.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

CUNHA, J. P. B.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F.; ALVES, R. M.; REIS, E. F. dos. Sulco descompactado. **Revista Cultivar Máquinas**, v.102, p. 16-17, 2010.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K, M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 603-612, 2010.

DELMOND, J. G. **Desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Development and current status of no-till adoption in the world. In: TRIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 18., 2009, Izmir. **Anais...** Izmir: International Soil Tillage Research Organization, 2009.

DIAS, V. de O. **Desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1836-1844, 2012.

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

DU, B.; BEKELE, A.; MORRISON JR., J. E. Drill Furrow Opener Effects on Wheat and Sorghum Establishment in No-Till Fields. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, p. 179-185, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 f.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília, 2013. 353 f.

ESTEVES, J. A. F.; ROSOLEM, C. A. Triticale, milho e adubação fosfatada para formação de palhada em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 981-990, 2011.

FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R. A.; PORTELLA, J. A. Desenvolvimento de mecanismos de corte para semeadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 1262-1271.

FERNANDES, H. C.; REIS, E. F. dos; NAIME, J. de M.; MODOLO, A. J. **Avaliação da influência de implementos de plantio direto do milho com tomografia de raios gama.** Boletim de pesquisa e desenvolvimento 10. EMBRAPA, São Paulo, out. 2005. ISSN 1678-0434.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northeast Ohio. **Soil & Tillage Research**, v. 48, p. 21-35, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

Conservation agriculture adoption worldwide. 2015. Disponível em:

<<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>>. Acesso em: 24 set. 2015.

FRANCETTO, T. R. DAGIOS, R. F.; FRANTZ, U. G.; FERREIRA, M. F.; RUSSINI, A. Área e volume mobilizado por diferentes hastes sulcadoras de semeadora-adubadora de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2012.

FRANCETTO, T. R. **Desempenho de mecanismos de corte dos resíduos culturais e abertura de sulco para a semeadura direta.** 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. dos S.; BELLÉ, M. P.; BECKER, R. S.; VEIT, A. A.; SILVA, W. P. da; BRASIL, M. Distância entre mecanismos de corte de palha e abertura de sulco empregados em semeadoras-adubadoras. In: SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 5., 2014, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. dos S.; BELLÉ, M. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 542-554, 2015b.

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

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. dos S.; BRANDELERO, C.; MACHADO, O. D. da C.; VEIT, A. A.; CARPES, D. P. Disturbance of Ultisol soil based on interactions between furrow openers and coulters for the no-tillage system. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. e0208, 2016c.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. dos S.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. da C.; BECKER, R. S.; BRANDELERO, C. Specific demands of the traction of cutting discs and furrow openers for the no-tillage system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1040-1046, 2016b.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; FERREIRA, M. F.; ALONÇO, A. dos S. Utilização do índice de adequação de semeadoras-adubadoras de precisão como ferramenta de comparação entre modelos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2013.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; LEINDECKER, J. A.; ALONÇO, A. dos S.; FERREIRA, M. F. Características dimensionais e ponderais das semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil. **Tecno-Lógica**, v. 19, p. 18-24, 2015a.

FRANCETTO, T. R.; LEINDECKER, J. A.; DAGIOS, R. F.; OLIVEIRA, Z. B. de. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações na densidade do solo e porosidade total de um argissolo vermelho em área sob videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, M. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L.; SILVA, A. P. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. **Bragantia**, v. 66, p. 477-486, 2007.

FURLANI, C. E. A.; CANOVA, R.; CAVICHIOLI, F. A.; BERTONHA, R. S.; SILVA, R. P. Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. **Revista Ceres**, vol. 60, n. 6, p. 885-889. 2013.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 345-352, 2008.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. de L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M. da. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, p. 781-789, 2004.

GADANHA JÚNIOR, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; YAHN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e Implementos Agrícolas do Brasil**. São Paulo: NSI/IPT E CIENTEC, 1991. 468 f.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB-FEALQ, 1996. p. 463-514.

GARCIA, R. F. **Patinagem de pneus**. 2006. Disponível em: <http://www.garcia.xpg.com.br/aula06_patinagem.pdf>. Acesso em: 27 set. 2015.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto, o caminho do futuro: teoria e princípios sobre plantio direto**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. cap. 1, p. 19-26.

GASSEN, J. R. F. Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea. 2011. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GASSEN, J. R. F.; ALONÇO, A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BELLÉ, M. P.; BONOTTO, G. J. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de

forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 116-124, 2014.

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

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

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; LOPES, A.; REIS, G. N. dos. Seeder-fertilizer machine: Energetic demand as a function of vegetal covering handling and manure deposition shank depth in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 241-248, 2009.

HARRISON, H. P. Soil reaction forces for disks from field measurements. **American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, v. 20, p. 836-838, 1977.

HASIMU, A.; CHEN, Y.; Soil disturbance and draft force of selected seed openers. **Soil & Tillage Research**, v. 140, p. 48-54, 2014.

HASIMU, A.; CHEN, Y.; Soil disturbance and draft force of selected seed openers. **Soil & Tillage Research**, v. 140, p. 48-54, 2014.

HOLANDA, F. S. R.; MENGEL, D. B.; PAULA, M. B.; CARVALHO, J. G.; BERTONI, J. C. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, p. 2383-2394, 1998.

HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E.; LOGAN, J. Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 51-56, 2002.

JIN, H.; HONG-WEN, L.; MCHUGH, A. D.; QING-JIE, W.; HUI, L.; RASAILY, R. G.; SARKER, K. K. Seed zone properties and crop performance as affected by three no-till seeders for permanent raised beds in arid northwest China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, p.1654-1664, 2012.

KARAYEL, D.; SARAUSKIS, E. Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. **Agricultural Engineering Research Papers**, v. 43, p. 16-24, 2011.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; PETH, S.; BERLI, M.; DELENNE, J. Y.; BAUMGARTEN, W.; RABELL, W.; RADJAI, F.; RAJACHENBACH, J.; SERVADURA, A. P. S.; OR, D. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction. **Soil & Tillage Research**, v. 128, p. 61-80, 2013.

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

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 25, p. 395-398, 1995.

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**, v. 42, p. 725-731, 2007.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Performance of powered-disc coulters under no-till crop residue in the soil bin. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 28, p. 85-90, 1986.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays L.*)**. 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LEVIEN, R.; FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; CONTE, O.; CAVICHIOLI, F.A.

Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1003-1010, 2011.

LOGSDON, S. D.; KARLEN, D. L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 143-149, 2004.

LOUZADA, R. S.; GONÇALVES, R. da S.; FISS, G.; LISBÔA, H.; SIGNORINI, C. B.;

LOY, F. S.; FERREIRA, O. G. L. Comparação de três métodos de avaliação do percentual de patinação de tratores agrícolas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2006, Pelotas. **Anais...** Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2006.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; MORAES, M. L. B de; ALONÇO, A. dos S.

Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais. Pelotas: Editora Universitária UFPel, 2005.

MAHL, D., GAMERO, C. A., BENEZ, S. H. Demanda energética de semeadora-adubadora de plantio direto em função de elementos de corte, velocidade e tipo de solo. **Revista Energia na Agricultura**, v. 22, p. 15-36, 2007.

MAK, J.; CHEN, Y.; SADEK, M. A. Determining parameters of a discrete element model for soil-tool interaction. **Soil & Tillage Research**, v. 118, p. 117-122, 2012.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p. 1241-1246, 1999.

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

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO, L. A.; MACHADO, T. M.; SARETTA, E. Avaliação do consumo de combustível de um trator agrícola em função da velocidade de deslocamento e da variação de inflação dos pneus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010. Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.

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

MCKYES, E. **Soil cutting and tillage**. Amsterdam: Elsevier, 1985. p. 217.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 27, p. 435-443, 2003.

MERCANTE, E.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-428, 2005.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 2012. 623 f.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722 f.

MION, R. L.; BENEZ, S. H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência Agrotecnologia**, v.32, 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**, v. 39, p. 1414-1419, 2009.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; PAGLIOSA, E. S.; DALLACORT, R.; KOLLING, E. M.; SGARBOSSA, M. Seeding quality and soybean yields from using different furrowers and operation speeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 3009-3016, 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Seção de Geografia, 1961, p. 46.

MOUAZEN, A. M.; NEMÉNYI, M. Tillage tool design by the finite element method: Part 1. Finite element modelling of soil plastic behaviour. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, p. 37-51, 1999.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET. B. B. **Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description**. ACIAR Monograph n° 121. University of the Queensland, Austrália, 2006. 178 f.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 627-638, 2014.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 148, p. 119-126, 2015.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; SPAGNOLO, R. T.; BARROS, M. M. de; BOAS, L. do A. V. 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**, v. 34, p. 1320-1326, 2010.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 9-14, 2005.

- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. dos. Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema de plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 581-590, 2009.
- PAYNE, P. C. J.; TANNER, D. W. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.4, p.312-325, 1959.
- PERDOK, U. D.; VAN DE WERKEN, G. Power and labour requirements in soil tillage - A theoretical approach. **Soil & Tillage Research**, v. 3, p. 3-25, 1983.
- PIFFER, C. R. **Viabilidade da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como planta de cobertura para a cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo**. 2008. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar de forças atuantes de elementos rompedores de semeadoras comerciais**. 1983. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1983.
- PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 71-78, 1997.
- RALISCH, R. Na medida certa. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 5, p. 09-11, set./out. 2001.
- 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**, v. 12, p. 212-221, 2004.
- ROSA, D. P. da; REICHERT, J. M.; SATTTLER, A.; REINERT, D. J.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, p. 395-400, 2008.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP/BASF, 1995. 134 p.

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

RUSSINI, A.; SCHLOSSER, J. F.; DORNELLES, M. E.; SANTOS, P. M. dos; RIBAS, R. L. Demanda energética de uma semeadora-adubadora na depressão central do Rio Grande do Sul obtida através de instrumentação eletrônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010. Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; RAMÍREZ, J. J.; LITAGO, J. J.; HERNANZ, J. L. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. **Soil & Tillage Research**, v. 81, p. 25-37, 2005.

SANTO, A. C. E. **Desgaste de ponteiras de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto e sua influência no esforço de tração**. 2005. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SANTOS, A. J. M.; GAMERO, C. A.; BACKES, C.; SALOMÃO, L. C.; BICUDO, S. J. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, p. 17-30, 2010.

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, p. 540-546, 2008.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. da. Produtividade da soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 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**, v.39, p.58-64, 2009.

SEIDI, E. Effects of geometry of disk openers on seed slot properties. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 72, p. 83-87, 2012.

SEMEATO. **Produtos**. Passo Fundo, 2016. Disponível em:< <http://www.semeato.com.br/pt-br/>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; SILVA, J. R.; MÁRQUEZ, L. The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. **Biosystems Engineering**, v. 102, p. 51-62, 2009.

SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H.; MAHL, D.; LEITE, M. A. S.; PONTES, J. R.; GRECO, C. R.; MARQUES, J. P.; COSTA, A. M. Avaliação de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função de diferentes mecanismos sulcadores e velocidades de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

SILVA, J. G. **Plantio direto do arroz influenciado por tipos de sulcadores e compactadores de sulcos da semeadora adubadora**. Comunicado técnico 81, EMBRAPA, Goiás, 2004. ISSN 1678-961X.

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

SILVA, M. R. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003a.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003b.

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**, v. 16, p. 1367-1373, 2012.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, J. C. M. da. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade e rotação no eixo do motor**. 2008. 145f. Tese (Doutorado em Ciência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVEIRA, J. C. M. da; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. de L.; TROGRELLO, E. Profundidade de sulco, área de solo mobilizada e força de tração de uma semeadora-adubadora em razão da velocidade de deslocamento. **Revista Ceres**, v. 58, p. 293-298, 2011.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 04, p. 256-267. 2005.

SIQUEIRA, R. **Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade**. 2009. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2015.

SIQUEIRA, R., CASÃO JÚNIOR, R. **Trabalho no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto**. Curitiba, SENAR-PR, 2004. p. 88.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; RALISCH, R. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja

(*Glycine max L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Ângulo ideal. **Revista Cultivar Máquinas**, v.13, p. 30-32, 2002.

SPAGNOLO, R. T.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; PALMA, M. A. Z.; BARROS, M. M. de. Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 131-139, 2012.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, p. 243-258, 1978.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

TAMAYO, J. H. C. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para práticas de cultivo**. 2002. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, p. 725-730, 2001.

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

TESSIER, S.; HYDE, G. M.; PAPENDICK, R. I.; SAXTON, K. E. No-till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, v. 34, p. 729-733, 1991.

TOLEDO, A. de; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; LOPES, A.; DABDOUB, M. J. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 459-467, 2010.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

TSEGAYE, T.; MULLINS, C. E. Effect of mechanical impedance on root growth and morphology of two varieties of pea (*Pisum sativum* L.). **New Phytol**, v. 126, p. 707-713, 1994.

VAMERALI, T.; BERTOCCO, M.; SARTORI, L. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays*, L.): A comparison with double-disk opener. **Soil & Tillage Research**, v. 89, p. 196-209, 2006.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 104-113, 2007.

VETTORI, L. **Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: EPFS. 1969. 24 f.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p. 873-882, 1984.

VOZKA, P. **Comparison of alternative tillage systems**. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Cranfield University, Cranfield, 2007.

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Traffic and seasonal influences on the energy required for cultivation and on the subsequent tith. **Soil & Tillage Research**, v. 31, p. 303-322, 1994.

WEED, S. Direct drilling of soybeans on the north coast. **Agricultural Gazette of New South Wales**, v. 92, p. 39-41, 1981.

YAO, Z.; HONGWEN, L.; GAO, H.; WANG, X.; HE, J. Crop performance as affected by three opening configurations for no-till seeder in annual double cropping regions of northern China. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, p. 839-847, 2009.

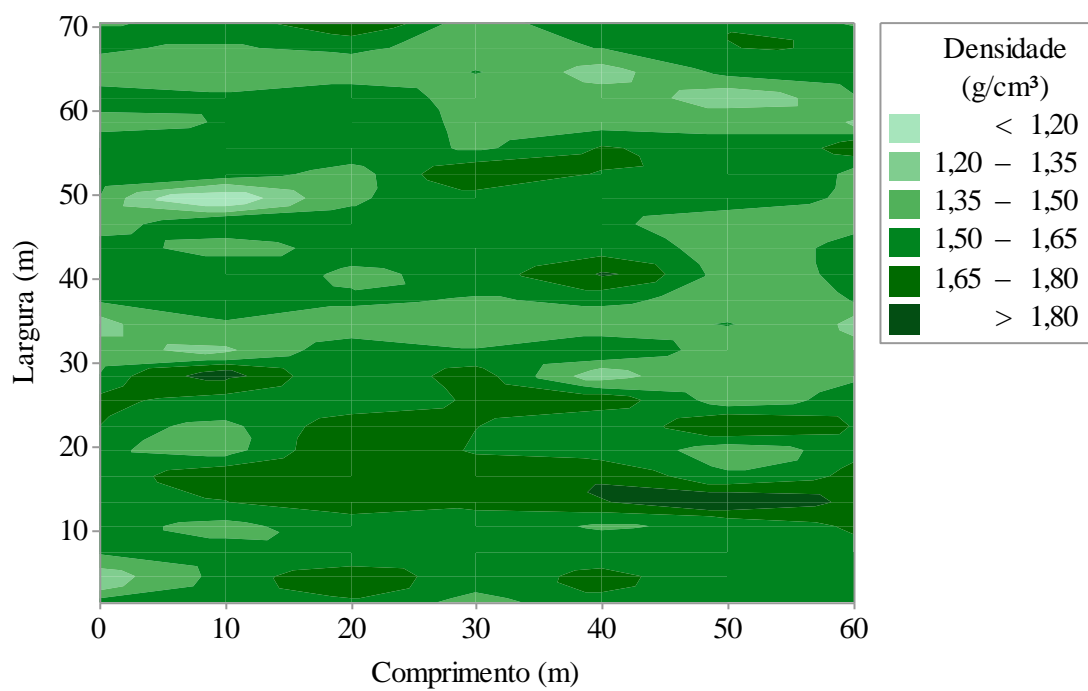
APÊNDICE A - VARIABILIDADE DA DENSIDADE DO SOLO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

A modificação da densidade do solo, com base nos valores médios, máximos, mínimos e o coeficiente de variação para cada parcela experimental, são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Modificação da densidade do solo para cada parcela

Parcela	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
P1	1,56	1,47	1,61	2,80
P2	1,56	1,25	1,75	10,00
P3	1,56	1,51	1,62	2,80
P4	1,55	1,48	1,67	4,00
P5	1,72	1,55	1,89	6,30
P6	1,68	1,51	1,77	6,60
P7	1,68	1,51	1,77	6,60
P8	1,64	1,48	1,77	5,90
P9	1,64	1,45	1,70	5,30
P10	1,54	1,31	1,83	11,00
P11	1,48	1,34	1,58	5,70
P12	1,42	1,29	1,50	6,00
P13	1,50	1,38	1,54	3,70
P14	1,59	1,46	1,81	7,20
P15	4,53	1,45	1,63	4,40
P16	1,51	1,38	1,61	5,00
P17	1,46	1,10	1,60	11,30
P18	1,58	1,47	1,76	6,60
P19	1,58	1,49	1,72	5,00
P20	1,47	1,34	1,61	5,40
P21	1,47	1,29	1,58	6,70
P22	1,46	1,31	1,54	5,30
P23	1,53	1,38	1,64	5,40
P24	1,57	1,45	1,81	7,90

A Figura 58 exibe a relação tridimensional em duas dimensões da variabilidade da densidade do solo na área do experimento, a fim de evidenciar o sentido adequado da realização do trabalho.

Figura 58 - Gráfico de contorno da densidade do solo da área experimental¹⁵

¹⁵ Área total de 4.320,0 m². Parcelas com área de 180,0 m² (3,0 m de largura por 60,0 m de comprimento).

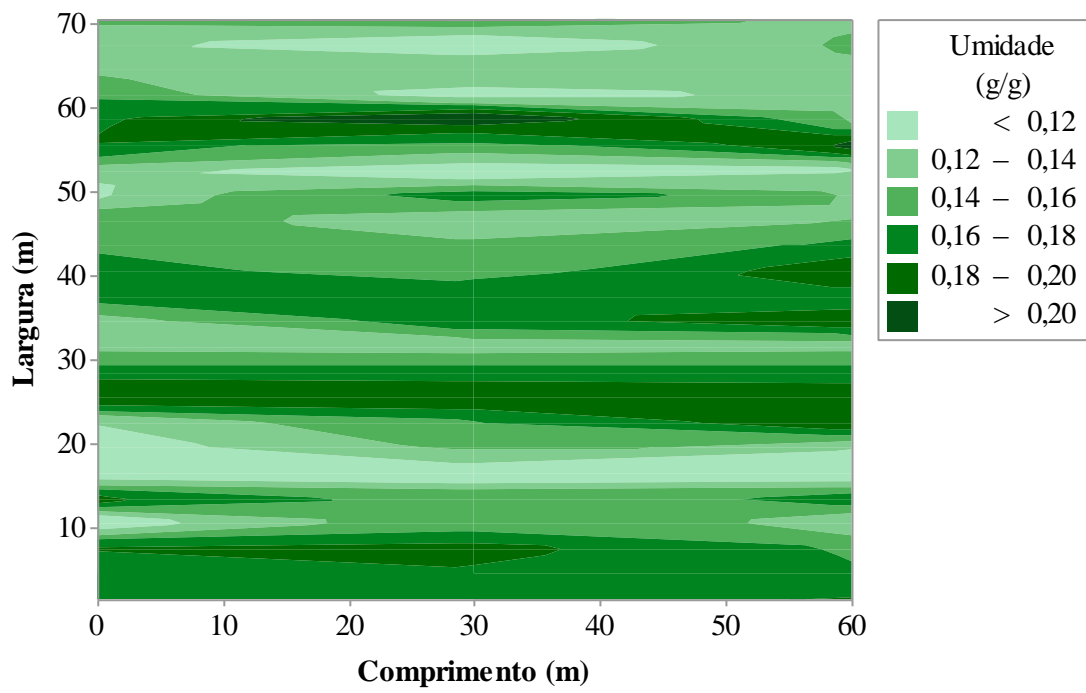
APÊNDICE B - VARIABILIDADE DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

A Tabela 37 apresenta o valor médio, mínimo, máximo e o coeficiente de variação do teor de água no solo para as respectivas parcelas experimentais.

Tabela 37 - Modificação do teor de água do solo para cada parcela

Parcela	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
P1	0,17	0,17	0,18	4,87
P2	0,17	0,16	0,18	3,91
P3	0,17	0,16	0,18	8,49
P4	0,13	0,10	0,15	18,26
P5	0,17	0,15	0,18	9,09
P6	0,11	0,10	0,11	4,05
P7	0,12	0,10	0,14	16,57
P8	0,16	0,12	0,19	21,86
P9	0,19	0,19	0,19	0,00
P10	0,17	0,17	0,17	0,71
P11	0,13	0,13	0,14	1,06
P12	0,16	0,13	0,19	18,16
P13	0,17	0,17	0,17	0,79
P14	0,18	0,15	0,20	12,33
P15	0,16	0,14	0,17	7,75
P16	0,14	0,13	0,16	8,43
P17	0,14	0,12	0,16	17,18
P18	0,12	0,11	0,13	10,70
P19	0,18	0,16	0,20	13,60
P20	0,17	0,14	0,21	20,59
P21	0,14	0,12	0,16	15,40
P22	0,13	0,13	0,14	0,89
P23	0,13	0,11	0,14	13,55
P24	0,15	0,12	0,17	16,66

A Figura 59 expõe a variabilidade do teor de água no solo na área experimental, a fim de demonstrar o sentido apropriado da realização do trabalho.

Figura 59 - Gráfico de contorno do teor de água do solo da área experimental¹⁶

¹⁶ Área total de 4.320,0 m². Parcelas com área de 180,0 m² (3,0 m de largura por 60,0 m de comprimento).