

JEFFERSON MACHADO FONTES

**DEMANDA ENERGÉTICA DE SEMEADORA-ADUBADORA EM SISTEMA
DE PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F683d
2013

Fontes, Jefferson Machado, 1960-

Demanda energética de semeadora-adubadora em sistema de
plantio direto / Jefferson Machado Fontes. – Viçosa, MG,
2013.

xxiv, 150f. : il. ; 29cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 139-150.

1. Implementos agrícolas. 2. Produtividade agrícola - Custos.
3. Palha - Utilização na agricultura. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

JEFFERSON MACHADO FONTES

**DEMANDA ENERGÉTICA DE SEMEADORA-ADUBADORA EM SISTEMA
DE PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2013.

José Márcio Costa

Denílson Eduardo Rodrigues

Mauri Martins Teixeira
(Coorientador)

Roberto Fontes Araújo

Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

A Deus.

À minha Mãe Luzia.

Ao meu Pai Ayres (*in memoriam*).

À minha esposa e companheira Andréa.

Aos meus filhos Ricardo e Bruno.

Às minhas irmãs Ana Luisa, Soraya e Edilene.

Aos meus irmãos Carlos, Alex, Alessandro,
Ricardo (*in memoriam*) e Marcus Vinicius.

Aos meus amigos.

Dedico às alegrias deste trabalho.

“Lembra-te do teu Criador nos dias de sua mocidade, antes que cheguem os anos dos quais dirás: não tenho neles prazer. E o pó volte a terra, como o era, e o espírito volte a Deus, que o deu.”
Ec. 12:1 e 7.

“Deus meumque jus.”

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Eterno: DEUS, O Grande Arquiteto do Universo.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela amizade, pela confiança, pelos ensinamentos e orientações, pela experiência transmitida e, sobretudo, pelo incentivo nos momentos de dificuldades. Estímulo que me tornou capaz de superar obstáculos e concretizar este trabalho.

Aos meus pais e aos meus irmãos, por sempre terem-me incentivado.

À minha esposa Andréa e aos meus filhos Ricardo e Bruno, pelo carinho, pelo apoio e pelo incentivo, que foram fundamentais para o êxito deste trabalho.

Aos Professores Fernando da Costa Baeta e Antônio Cléber Gonçalves Tibiriçá (ex-pró-reitores de Administração da Universidade Federal de Viçosa - UFV) e à Administradora de Empresas Leiza Maria Granzinolli, atual pró-reitora de Administração da UFV, pelo apoio, pela confiança e pela oportunidade de tornar meu sonho realidade.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela oportunidade de realizar o Curso.

Ao Professor Mauri Martins Teixeira, do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, por ter estado sempre pronto a me orientar nos momentos de dificuldade, pela amizade, pelos ensinamentos e pelas importantes sugestões no decorrer desta pesquisa.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, do Departamento de Estatística da UFV, pelos esclarecimentos, pelas sugestões e, principalmente, pela tão oportuna e valiosa consultoria técnica no delineamento experimental e na análise estatística dos dados.

Ao Professor José Márcio Costa, do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pelas oportunas sugestões por ocasião da defesa da tese.

Ao Doutor Roberto Fontes Araújo, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; e ao Professor Denilson Eduardo Rodrigues, do Departamento de Engenharia Elétrica da UFV, por terem estado sempre presentes no desenvolvimento deste trabalho, com amizade e atenção, e pelas importantes contribuições.

Ao Departamento de Zootecnia da UFV, em especial ao Zootecnista Belmiro Zamperllini, pela cessão da Área Experimental para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas da Pós-Graduação, em especial Daniel, Elton, Élcio (Lalá) e Marconi, pelo apoio e pela contribuição na instalação e condução do experimento.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Marcelo, Danilo, Wantuil e Geraldo, pelo apoio durante toda essa jornada.

Aos meus amigos e servidores da UFV Geraldo e Roberto, da DPJ; Ricardo e Nilton, da DPO; e Luisinho, Paulo, Divino e Fernando, da DMU, pela importante ajuda na instalação do experimento.

Enfim, a todos que contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

BIOGRAFIA

JEFFERSON MACHADO FONTES, filho de Ayres Lopes Fontes e Luzia Cardoso Machado Fontes, nasceu em Viçosa, Estado de Minas Gerais, em 4 de dezembro de 1960.

Em 1971, concluiu o curso primário no Grupo Escolar Ministro Edmundo Lins, após o que ingressou no Colégio Estadual de Viçosa, de onde saiu, em 1978, para cursar o 3º ano do 2º grau no Colégio Universitário (COLUNI), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em dezembro de 1985, graduou-se em Engenharia Industrial Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, iniciando, em fevereiro de 1986, suas atividades profissionais na Amapá Florestal e Celulose S/A (AMCEL), onde trabalhou até 1991.

Em março de 1991, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciência Florestal da UFV, obtendo o título de *Magister Scientiae* em julho de 1995.

Aprovou-se em Concurso Público para o cargo de Engenheiro Mecânico da UFV, iniciando suas atividades profissionais em novembro de 1993.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Federal de Juiz de Fora, concluindo-o em julho de 2005.

Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola – área de concentração em Mecanização Agrícola – da UFV, submetendo-se à defesa da tese em fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE QUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xvii
RESUMO	xx
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Preparo do solo.....	5
2.2. Sistemas de preparo periódico do solo	6
2.2.1. Sistema convencional de preparo do solo	7
2.2.2. Sistemas conservacionistas de preparo do solo	8
2.2.2.1. Sistema de plantio direto.....	9
2.3. Atributos físicos do solo	12
2.3.1. Densidade do solo	12
2.3.2. Teor de água do solo	14
2.3.3. Resistência do solo à penetração	15
2.4. Sistema motomecanizado.....	17
2.4.1. Trator agrícola.....	18

	Página
2.4.2. Semeadora-adubadora	19
2.5. Mecanismos sulcadores de solo	23
2.5.1. Disco simples.....	25
2.5.2. Disco duplo defasado.....	27
2.5.3. Facão	28
2.6. Desempenho operacional de máquinas agrícolas	30
2.6.1. Velocidade de deslocamento	31
2.6.2. Força de tração	34
2.6.3. Potência	36
2.6.4. Consumo de combustível.....	38
2.6.4.1. Consumo horário de combustível.....	39
2.6.4.2. Consumo específico de combustível.....	41
2.6.5. Volume de solo mobilizado	42
2.6.6. Demanda energética.....	45
2.7. Força de tração segundo a norma ASAE D497.7MAR2011	47
3. MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1. Área experimental.....	49
3.1.1. Caracterização	49
3.1.2. Preparação	50
3.2. Caracterização física do solo da área experimental	51
3.2.1. Amostras de solo	51
3.2.2. Densidade e teor de água do solo	52
3.2.3. Resistência do solo à penetração	55
3.3. Delineamento experimental	56
3.4. Demarcação das unidades experimentais	58
3.5. Máquinas e implementos agrícolas.....	59
3.6. Desempenho operacional do conjunto mecanizado	68
3.6.1. Velocidade de deslocamento	68
3.6.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora	70
3.6.3. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora	72
3.6.4. Consumo de combustível.....	72
3.6.4.1. Consumo horário de combustível.....	73

	Página
3.6.4.2. Consumo específico de combustível.....	75
3.6.5. Perfil de solo mobilizado	75
3.6.6. Volume de solo mobilizado	78
3.6.7. Volume específico de solo mobilizado	78
3.6.8. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado.....	79
3.6.9. Energia requerida por volume de solo mobilizado	79
3.7. Avaliação de modelo matemático proposto pela ASABE para predição de força requerida para tração de semeadora-adubadora	80
3.7.1. Diagrama de forças atuantes no trator.....	80
3.7.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora segundo modelo da ASABE	81
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1. Caracterização física do solo da área experimental	83
4.1.1. Análise granulométrica e textura do solo	84
4.1.2. Densidade e teor de água do solo	84
4.1.3. Resistência do solo à penetração	86
4.2. Desempenho operacional do conjunto mecanizado	88
4.2.1. Velocidade de deslocamento	89
4.2.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora	93
4.2.3. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora	97
4.2.4. Consumo de combustível.....	102
4.2.4.1. Consumo horário de combustível.....	102
4.2.4.2. Consumo específico de combustível.....	110
4.2.5. Perfil e área de solo mobilizado	115
4.2.6. Volume de solo mobilizado	117
4.2.7. Volume específico de solo mobilizado	121
4.2.8. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado.....	125
4.2.9. Energia requerida por volume de solo mobilizado	130

	Página
4.3. Avaliação do modelo matemático proposto pela ASABE para predição da força requerida para tração da semeadora- adubadora.....	135
5. CONCLUSÕES.....	138
6. REFERÊNCIAS	139

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado em função da marcha e da rotação do eixo do motor	69
2. Análise granulométrica do solo da área experimental	84
3. Densidade e teor de água do solo	85
4. Velocidades médias de deslocamento do conjunto mecanizado	92

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Identificação e descrição dos tratamentos estudados	57
2. Nomenclatura das forças atuantes no trator	81
3. Parâmetros relacionados à máquina e à textura do solo (transcrito de ASAE D497.7MAR2011)	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Vista parcial da área experimental antes da instalação do experimento.....	50
2. Resíduos vegetais deixados sobre o solo da área experimental ..	51
3. Trado utilizado para coletar amostras deformadas de solo	52
4. Trado utilizado para coletar amostras indeformadas de solo.....	55
5. Penetrômetro utilizado para medir a resistência do solo à penetração	56
6. Arranjo físico da área experimental com distribuição dos blocos, unidades experimentais e variáveis ensaiadas	59
7. Semeadora-adubadora	60
8. Configuração “A” de montagem da linha de plantio (disco duplo defasado)	62
9. Configuração “B” de montagem da linha de plantio (facão).....	62
10. Disco de corte utilizado nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”)	63
11. Mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado.....	63
12. Mecanismo sulcador tipo facão.....	64

	Página
13. Esquema do comboio utilizado para medir a força requerida para tração da semeadora-adubadora	66
14. Célula de carga.....	67
15. Medidor de fluxo volumétrico de combustível	67
16. Perfilógrafo.....	77
17. Diagrama de forças atuantes no trator.....	80
18. Resistência do solo à penetração em função da profundidade	87
19. Estimativa da força requerida para tração da semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	94
20. Estimativa da potência requerida para tração da semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	98
21. Estimativa do consumo horário de combustível, em termos volumétricos, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	104
22. Estimativa do consumo horário de combustível, em termos ponderais, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	107
23. Estimativa do consumo específico de combustível em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	112
24. Perfis transversais da superfície natural e superfície interna do solo mobilizado pelo mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado.....	115
25. Perfis transversais da superfície natural e superfície interna do solo mobilizado pelo mecanismo sulcador tipo facão.....	116
26. Estimativa do volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	118

27. Estimativa do volume específico de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	123
28. Estimativa do consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	127
29. Estimativa da energia requerida para tração da semeadora-adubadora por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio	132

LISTA DE EQUAÇÕES

	Página
1. Volume do anel.....	53
2. Densidade do solo	54
3. Teor de água do solo	54
4. Velocidade de deslocamento	69
5. Velocidade média de deslocamento	70
6. Força requerida para tração do conjunto mecanizado.....	71
7. Força de resistência ao deslocamento oferecida pelo trator 2.....	71
8. Força requerida para tração da semeadora-adubadora	71
9. Força média requerida para tração da semeadora-adubadora.....	72
10. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora.....	72
11. Consumo horário de combustível, volumétrico	73
12. Número de pulsos registrados em uma unidade experimental	74
13. Consumo horário de combustível, ponderal	74
14. Consumo horário médio de combustível, volumétrico	75
15. Consumo horário médio de combustível, ponderal.....	75

	Página
16. Consumo específico de combustível	75
17. Área de solo mobilizado pela semeadora-adubadora.....	77
18. Volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora	78
19. Volume médio de solo mobilizado	78
20. Volume específico de solo mobilizado	78
21. Volume específico médio de solo mobilizado	79
22. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado	79
23. Energia requerida por volume de solo mobilizado	79
24. Força requerida para tração da semeadora-adubadora (segundo modelo da ASAE)	81
25. Força requerida para tração da semeadora-adubadora (segundo modelo da ASAE, com terminologia modificada).....	82
26. Força média requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “A”	93
27. Força média requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “B”	93
28. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “A”	97
29. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “B”	97
30. Consumo horário médio de combustível (volumétrico), na configuração “A”	103
31. Consumo horário médio de combustível (volumétrico), na configuração “B”	103
32. Consumo horário médio de combustível (ponderal), na configuração “A”	106
33. Consumo horário médio de combustível (ponderal), na configuração “B”	106
34. Consumo específico de combustível, na configuração “A”	111

	Página
35. Consumo específico de combustível, na configuração “B”	111
36. Volume médio de solo mobilizado, na configuração “A”	117
37. Volume médio de solo mobilizado, na configuração “B”	117
38. Volume específico médio de solo mobilizado, na configuração “A”	121
39. Volume específico médio de solo mobilizado, na configuração “B”	121
40. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, na configuração “A”	125
41. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, na configuração “B”	125
42. Energia requerida por volume de solo mobilizado, na configuração “A”	130
43. Energia requerida por volume de solo mobilizado, na configuração “B”	130

RESUMO

FONTES, Jefferson Machado, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Demanda energética de semeadora-adubadora em sistema de plantio direto.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

Na agricultura moderna, o custo operacional continua sendo decisivo no momento da seleção de máquinas e, ou, do sistema motomecanizado. Nessa atividade, o grande desafio continua sendo produzir com alta qualidade, dependência mínima de mão de obra e custo reduzido. O sistema de plantio direto está sendo cada vez mais utilizado, e a tendência é aumentar ainda mais. Nesse contexto, quantificar a energia demandada pelos diferentes tipos e modelos de semeadora-adubadora disponíveis no mercado é de suma importância para fabricantes, agricultores e demais interessados, que podem, além de aperfeiçoar o produto, selecionar aquele que proporcionará o melhor rendimento energético e, consequentemente, dará maior contribuição para reduzir os custos da produção agrícola. Objetivou-se com este trabalho avaliar a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e configurações de montagem de linha de plantio, bem como aplicar e avaliar o modelo matemático para predição de esforço tratório proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers

(ASABE), na Norma ASAE D497.7MAR2011, por meio de comparação de resultados obtidos experimentalmente com os simulados. O experimento foi realizado no delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Foram aplicados 10 tratamentos pela associação de cinco velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado com duas configurações de montagem da linha de plantio, totalizando 30 unidades experimentais. As variações na configuração de montagem da linha de plantio foram decorrentes da utilização de dois tipos de mecanismo sulcador no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora: disco duplo defasado e facão. Foram avaliadas as seguintes variáveis: velocidade de deslocamento; força e potência requeridas para tração da semeadora-adubadora; consumo horário e específico de combustível; volume médio e específico de solo mobilizado; consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado; e energia requerida por volume de solo mobilizado. Concluiu-se que, para velocidades de deslocamento idênticas, a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão no sistema de deposição de adubo (configuração “B”) apresentou menor demanda energética que a semeadora-adubadora equipada com o disco duplo defasado (configuração “A”) para realizar o mesmo trabalho. Concluiu-se, também, que o modelo proposto pela norma ASABE (2011b) para predição de força requerida na tração de implementos agrícolas mostrou-se eficiente para a semeadora-adubadora montada na configuração “A”, o que não ocorreu na configuração “B”.

ABSTRACT

FONTES, Jefferson Machado, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Energy requirement and traction modelling of a seeder-tractor set for non-tillage.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Mauri Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

Operational costs has been being decisive for selecting machines and or mechanized systems in the modern agriculture. High quality production, minimum dependence on labor and reduced costs are the greatest challenges in this activity. The non-tillage system is being increasingly used, and the trend is to increase more and more. In this context, quantifying the energy required by different types and models of seeder available in the market is of paramount importance to manufacturers, farmers and other interested ones who may, besides improving the product, select one that will provide the best energy efficiency and give greater contribution to reducing the costs of agricultural production, as a consequence. The objectives of this study were to evaluate the energy demand of a seeder-tractor at different speeds and planting row mounting configurations, as well as to implement and to evaluate the mathematical model for predicting tractor effort proposed by ASAE D497.7MAR2011 Guidelines through comparison of experimental with the simulated results. The experiment was conducted in randomized block design with three replicates. It was used five displacement speeds

obtained in function of the gear variations, changes in rotation of the axis of the tractor and two configurations of planting row mountings, totaling 10 treatments and 30 experimental units. Variations in configurations of the planting row mountings were caused by the use of two types of plow mechanism in the fertilizer deposition system of the seeder: unbalanced double discs and knife. The following variables were evaluated: displacement speed, force and power required to pull the seeder; time and specific fuel consumption; specific and total volume of displaced soil; specific fuel consumption per volume of displaced soil, and tractor driving wheel slip and energy required per volume of displaced soil. Based on the results, it was concluded that the seeder equipped with knife-type furrower system showed the best energy performance and the model for prediction of force required to pull agricultural implements proposed by ASABE (2011b) was able to provide information for predicting the behavior of this variable when the planter was equipped with the unbalanced double discs furrower mechanism. It was concluded that, for identical displacement speeds the seeder-fertilizer equipped with the knife-type furrower mechanism in the fertilizer deposition system ("B" configuration) presented lower energy demand than the seeder-fertilizer equipped with the lagged double disc ("A" configuration) to accomplish the same task. It is also concluded that the model proposed by ASABE (2011b) to prediction of power required in traction of agricultural implements showed to be able to offer to the seeder-fertilizer mounted in the "A" configuration the information for prediction of behavior of this variable. However, in the "B" configuration, the model did not showed to be able to supply such information.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto é prática conservacionista de preparo do solo e de semeadura que se baseia em três princípios básicos: Revolvimento mínimo do solo, Manutenção dos resíduos vegetais da cultura antecessora sobre a superfície do solo e Rotatividade de culturas. No Brasil, a área cultivada com esse sistema de plantio já ultrapassou os 25 milhões de hectares, excedendo 50,0% da área utilizada com agricultura intensiva no país.

Nesse sistema, a operação de semeadura tende a ser mais complexa, onerosa e dispendiosa em termos de potência e consumo de combustível que no sistema convencional, porque é realizada de forma direta sobre o solo não preparado. A operação é realizada por meio de semeadora-adubadora que, além de dosar, distribuir e depositar adubo e sementes no solo, tem a função de preparar o sulco de semeadura de forma a garantir as condições ideais para a germinação e o desenvolvimento da cultura.

Na semeadora-adubadora, a linha de plantio é constituída, basicamente, pelo disco de corte, pelos mecanismos sulcadores dos sistemas de deposição de adubo e de sementes e pelas rodas compactadoras e limitadoras de profundidade. Todos esses componentes exercem ação direta sobre o solo. No entanto, as atividades de preparo do

solo e formação do sulco de semeadura são de responsabilidade dos mecanismos sulcadores.

Há diversos tipos de mecanismos sulcadores para adubos e sementes que, combinados, podem formar diferentes configurações de montagem de linha de plantio. As opções de mecanismos sulcadores mais utilizadas têm sido as do tipo disco duplo defasado e as do tipo facão.

A correta seleção desses mecanismos sulcadores é essencial para a perfeita adequação da máquina a dada condição operacional. A seleção deve ser feita com base nas propriedades físicas do solo, nas condições de cobertura da superfície, no grau de compactação da camada superficial do solo, na profundidade de semeadura, no volume de solo mobilizado e na velocidade de deslocamento.

As configurações de linha de plantio mais utilizadas na atualidade continuam sendo as constituídas por disco liso para corte de resíduos vegetais, mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado ou facão no sistema de deposição de adubo e mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado no sistema de deposição de sementes.

A opção de utilizar o mecanismo sulcador tipo facão no sistema de deposição de adubo se aplica, principalmente, nas situações em que as condições físicas do solo se apresentam inadequadas para implantação e desenvolvimento de determinada cultura, como ocorre nos solos compactados. Essa compactação, que geralmente é causada pelo tráfego de máquinas em solos com elevado teor de água ou pela utilização inadequada da técnica de semeadura direta, traz como efeitos negativos o aumento da resistência do solo à penetração, o que dificulta o crescimento radicular e diminui a capacidade de infiltração de água e de aeração do solo, afetando a produtividade agrícola. Nesses casos, o mecanismo sulcador tipo facão apresenta-se como opção tecnicamente viável para solução do problema, devido à sua maior capacidade de penetração e mobilização do solo.

O desempenho operacional e o desempenho energético desses mecanismos sulcadores e, por conseguinte, da semeadora-adubadora dependem de vários fatores, como a velocidade de deslocamento e as

condições do solo (densidade, teor de água e resistência à penetração), entre outros.

A relação máquina-solo tende a se comportar de maneiras diferentes quando a velocidade de deslocamento e o tipo de mecanismo sulcador montado na semeadora-adubadora são alterados.

Nesse contexto, deve ser possível que a qualidade do leito de semeadura e o volume de solo mobilizado sejam diferentes em cada velocidade de deslocamento e configuração de montagem da linha de plantio, assim como também deve ser possível que os parâmetros relacionados ao requerimento de força de tração, potência e consumo de combustível sejam diferentes em cada uma das velocidades e tipos de mecanismos sulcadores montados na semeadora-adubadora. Essas variações poderão indicar, em determinadas condições operacionais, eventuais excessos no dispêndio energético e a inviabilidade técnica e, ou, econômica da operação, como também poderão indicar as condições operacionais que proporcionarão os melhores rendimentos energéticos.

Considerando que esses mecanismos sulcadores são amplamente utilizados em semeadoras-adubadoras e que a interação desses mecanismos sulcadores com a velocidade de deslocamento pode influenciar no desempenho energético do conjunto mecanizado, foi conduzido este trabalho experimental, com os propósitos de conhecer e entender os efeitos dessa interação em condições efetivas de operação.

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a demanda energética de um conjunto mecanizado composto por trator agrícola e semeadora-adubadora, em sistema de plantio direto, em cinco velocidades de deslocamento e duas configurações de montagem de linha de plantio, obtidas pela variação das marchas, rotações do eixo do motor e tipo de mecanismo sulcador montado no sistema de deposição de adubo; e aplicar e avaliar o modelo matemático proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) na norma técnica ASAE D497.7MAR2011, para predição de força de tração de semeadora-adubadora, por meio de comparação de resultados obtidos experimentalmente com os simulados.

Como objetivos específicos, propuseram-se:

- Estabelecer a interação entre o mecanismo sulcador e a velocidade de deslocamento que apresentou o menor valor para a variável energia requerida pela semeadora-adubadora por volume de solo mobilizado.
- Determinar a força requerida para tração da semeadora-adubadora utilizando o modelo matemático proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2011b) na norma técnica ASAE D497.7MAR2011: Agricultural Machinery Management Data, nas duas configurações de montagem de linha de plantio e nas cinco velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado.
- Comparar os resultados obtidos por meio dos modelos matemáticos ajustados experimentalmente para a variável força requerida para tração da semeadora-adubadora com os obtidos por meio do modelo para predição dessa variável proposto pela norma técnica ASABE (2011b), nas diferentes velocidades de deslocamento e configurações de montagem de linha de plantio (“A” e “B”).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Preparo do solo

Dá-se o nome de preparo do solo ao conjunto de operações que se realizam com a finalidade de conferir ao terreno condições de receber sementes ou órgãos de reprodução vegetativa de plantas cultivadas (SAAD, 1984).

Seu principal objetivo é melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo para garantir a germinação da semente, o crescimento radicular e o estabelecimento da cultura (SANTIAGO; ROSSETO, 2007). Para esses autores, o preparo do solo com incorporação de adubos e corretivos visa atenuar ou eliminar os seguintes fatores:

- Físicos: compactação, adensamento e encharcamento.
- Químicos: baixo teor de nutrientes, elevados teores de alumínio (Al), manganês (Mn) e sais de sódio (Na).
- Biológicos: nematoides e cupins, entre outros.

Na definição apresentada por Srivastava et al. (1993), o preparo do solo é a manipulação mecânica do solo para qualquer propósito. Esses autores comentaram que para fins agrícolas o preparo do solo tem os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma estrutura do solo adequada para o leito de sementes e, ou, das raízes.

- Controlar as plantas daninhas e remover plantas indesejadas.
- Manejar resíduos de plantas.
- Minimizar a erosão do solo.
- Estabelecer configurações de superfícies específicas para plantio, irrigação, drenagem e operação de colheita.
- Incorporar fertilizantes, corretivos e defensivos.
- Realizar desagregação de rochas e raízes.

Quando o terreno estiver recoberto de vegetação natural ou com uma superfície irregular, torna-se necessária a remoção desses obstáculos para a instalação da cultura. Essas operações constituem o sistema de preparo inicial do solo. Depois delas, o terreno encontra-se em condições de ser cultivado. O cultivo em um terreno nessas condições inicia-se com as operações que compõem o sistema de preparo periódico do solo, as quais se consistem, entre outras, em: revolvimento periódico, destorroamento, destruição da vegetação de superfície, enterrio dos restos de culturas anteriores e desagregamento de solo (SAAD, 1984).

Balastreire (1987) também classificou o preparo do solo em dois grupos: preparo inicial do solo e preparo periódico do solo. Para esse autor, o preparo inicial do solo compreende as operações necessárias para criar condições de implantação de culturas em áreas não utilizadas anteriormente para essa finalidade. Basicamente, constituem-se em operações de desmatamento e, eventualmente, de alguma movimentação de terra para tornar a superfície regular. O preparo periódico são as movimentações de solo com a finalidade de instalação periódica ou não de culturas.

2.2. Sistemas de preparo periódico do solo

Os sistemas de preparo periódico do solo podem ser classificados em dois grupos: convencional e conservacionista. A escolha do melhor sistema, para determinada condição, depende do adequado diagnóstico dos fatores limitantes ao desenvolvimento radicular das plântulas. Dependendo das condições, pode-se optar pelo sistema convencional ou pelo conservacionista (SANTIAGO; ROSSETO, 2007).

Para esses autores, durante o preparo periódico é importante atentar-se para a conservação do solo, prevendo a execução de terraços e medidas que evitem as perdas de solo por erosão e escoamento superficial de água, indiferentemente se o sistema adotado é convencional ou conservacionista. Destacam que esses sistemas de preparo periódico contribuem também para o controle de plantas daninhas e de algumas pragas de solo.

2.2.1. Sistema convencional de preparo do solo

O sistema convencional de preparo periódico do solo, de acordo com a norma ASAE S414.1FEB2004 (ASAE, 2004), pode ser dividido em primário e secundário. O preparo primário reúne as operações projetadas para revolver o solo, cobrir restos vegetais e rearranjar agregados. O preparo secundário reúne todas as demais operações necessárias e realizadas após o preparo primário com o objetivo de refinar as condições do solo antes do plantio, visando criar uma configuração de superfície adequada para o desenvolvimento da cultura e controle de plantas daninhas.

O sistema convencional apresenta como suas principais características, segundo Lucarelli (1997), o revolvimento do solo de toda a área a ser cultivada e a incorporação total ou quase total dos resíduos sobre a superfície do solo, em decorrência da ação dos elementos ativos do implemento agrícola. Os implementos mais utilizados nesse sistema de preparo do solo são: arado de discos, arado de aivecas, grade pesada e grade leve.

Segundo Santiago e Rosseto (2007), o sistema convencional de preparo do solo consiste no revolvimento das camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água. Esses procedimentos facilitam o crescimento das raízes das plantas. Além disso, o revolvimento do solo auxilia no controle de pragas e patógenos do solo.

Esse sistema é muito utilizado em propriedades de pequeno porte que utilizam tração mecânica e, ou, animal, sendo caracterizado pelas

operações de aração e gradagem. Quando comparado com outros sistemas considerados conservacionistas, caracteriza-se pela excessiva mobilização do solo, fato que, associado às condições adversas de topografia e precipitações elevadas na época de preparo, pode determinar acentuada deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (FREITAS, 1997).

Os arados promovem a mobilização com incorporação da vegetação sobre a superfície do solo, e as grades favorecem o manejo das palhadas, assim como a desagregação excessiva da camada superficial do solo (HENKLAIN, 1997). Para esse autor, os referidos implementos foram desenvolvidos para possibilitar grande mobilização do solo. Dessa forma, o terreno fica desprotegido e exposto ao processo erosivo. O impacto das gotas de chuva ocasiona a desagregação das partículas do solo, que entopem os poros da superfície e diminuem a infiltração de água, tendo como consequência o escoamento superficial e o transporte das partículas desagregadas.

Estudos de Merten (1991) indicaram que a utilização do sistema convencional causou diminuição da resistência do solo à penetração nas camadas superficiais e nas subsuperficiais e exerceu pouca influência sobre essa variável. Indicaram também que esse sistema favorece a erosão por causa da diminuição do tamanho dos agregados do solo, fato que, no entendimento desse autor, pode ser minimizado com a construção de terraços e semeadura em curvas de nível.

Já Santiago e Rosseto (2007) comentaram que é importante usar corretamente as técnicas de preparo do terreno para aumentar a infiltração de água, reduzir a enxurrada e, por consequência, a erosão, evitando a ocorrência progressiva da degradação física, química e biológica do solo.

2.2.2. Sistemas conservacionistas de preparo do solo

Ao padronizar a terminologia para sistemas de preparo do solo, a norma ASAE S414.1FEB2004 (ASAE, 2004) denominou cultivo conservacionista todo e qualquer sistema de preparo do solo ou plantio que

mantenha, no mínimo, 30% da superfície do solo coberta por resíduos vegetais e, ou, vegetação de cobertura.

Os sistemas conservacionistas têm como princípio o mínimo ou o não revolvimento do solo. Nas operações que realizam, esses sistemas utilizam máquinas ou implementos para quebrar superficialmente a estrutura do solo sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduos na superfície da área (LUCARELLI, 1997). Esses sistemas contribuem para melhorar a estrutura do solo e, à medida que facilitam a infiltração de água no solo e melhoram a proteção contra a erosão, tornam-se mais importantes. Entre os sistemas denominados conservacionistas, os mais utilizados são o plantio direto e o cultivo mínimo com escarificador (PEIXOTO et al., 1997).

Esses sistemas, chamados de conservacionistas, surgiram em meados dos anos de 1970, segundo Freitas (1997) com a necessidade de se buscar métodos alternativos para o preparo do solo convencional, embora na época a maior preocupação fosse controlar a erosão. Segundo esse autor, no Brasil a primeira experiência com esses sistemas que promovem menor revolvimento do solo foi realizada em 1978, com a semeadura do milho. Na ocasião, a abertura do sulco foi realizada sobre a massa verde da ervilhaca em plena floração, e o sistema foi denominado “cultivo mínimo”.

O cultivo mínimo foi definido como a operação de manipulação do solo estritamente necessária para a implantação de uma cultura ou para atingir requerimentos mínimos de condições de uso do solo (ASAE, 2004).

2.2.2.1. Sistema de plantio direto

No sistema de plantio direto, a semeadura é realizada diretamente sob a superfície com revolvimento mínimo do solo (ASAE, 2004).

Já na definição apresentada por Araújo et al. (2001) o plantio direto é um sistema de manejo da produção agrícola no qual a semeadura é realizada com revolvimento mínimo do solo, preservando-se a cobertura vegetal das culturas anteriores sobre a superfície.

No entendimento de Branquinho et al. (2004), a técnica de semeadura direta consiste na colocação da semente em um solo não

convencionalmente preparado, causando uma mínima mobilização e possibilitando a permanência de restos vegetais das culturas anteriores na cobertura do solo.

O plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é depositada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para o desenvolvimento da cultura (RIBEIRO, 1998). Para esse autor, trata-se de um processo de semeadura com revolvimento do solo somente ao longo da linha de plantio ou na cova.

A conservação dos resíduos da colheita na superfície do solo afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A temperatura, o teor de água, a densidade, a porosidade, a resistência à penetração e a distribuição dos agregados são algumas das propriedades afetadas pelo sistema de manejo do solo. Dessa forma, o cultivo mínimo e o plantio direto visam à maior conservação do solo, além de garantir o desenvolvimento e produtividade da cultura (FABRIZZI et al., 2005).

O plantio direto visa manter no solo uma cobertura vegetal que provém de culturas anteriores, sendo fonte de matéria seca com diferentes relações carbono-nitrogênio. Apresenta como vantagem a redução nos custos operacionais de mecanização, levando-se em consideração os aspectos conservacionistas das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NAGAOKA; NOMURA, 2003).

Furlani et al. (2004) ressaltaram que a técnica do plantio direto visa manter a superfície do solo com a maior quantidade de resíduos possível, evitando, assim, efeito das intempéries do clima. Mas essa cobertura precisa ser corretamente manejada, a fim de fornecer condições adequadas para a utilização da semeadora-adubadora. Já Branquinho et al. (2004) observaram que a prática da semeadura direta associada à rotação de culturas requer menor necessidade de água para efetuar o plantio e favorece o aumento da atividade biológica do solo devido ao incremento de matéria orgânica.

As principais vantagens que esse sistema traz ao agroecossistema são: redução na erosão do solo e na perda de nutrientes por lixiviação, manutenção da estabilidade térmica da superfície do solo,

conservação da água no sistema e redução nos custos de manejo (RINALDI, 2008).

O plantio direto, na opinião de Peixoto (1997), é o sistema de produção agropecuário que mais se aproxima de um sistema ecológico natural, tendo em vista que há revolvimento mínimo do solo na linha de semeadura e preconiza-se a manutenção de uma cobertura (verde e, ou, morta) permanente no solo. Como consequência, esse sistema constrói, ao longo do tempo, um solo estratificado que, em nível de fertilidade do solo, induz ao acúmulo de matéria orgânica e nutriente na superfície, formando um gradiente de distribuição com a diminuição da concentração e com o aumento da profundidade no perfil do solo. Já para Lange (2002) o sistema de plantio direto é um componente indispensável à agricultura sustentável. Um método de manejo do solo que conserva a sua estrutura e mantém os restos culturais sobre a superfície, no período que vai da colheita até o próximo plantio, é indicado como a melhor forma de conservar a umidade e evitar a erosão.

Araújo et al. (2001) enfatizaram, contudo, que o sistema de plantio direto é o mais apropriado para a produção agrícola em clima tropical, promovendo a melhoria das condições físicas e químicas (fertilidade) do solo, reduzindo o uso de máquinas, mão de obra e consumo de combustível, melhorando as condições ambientais pela redução da erosão e do uso de agroquímicos, além de minimizar os custos de produção em médio e longo prazos.

Ao avaliarem os efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um argissolo, Genro Júnior et al. (2000) observaram que o sistema adotado não exerceu influência sobre a resistência do solo à penetração. No entanto, Boller e Gamero (1998), estudando os custos econômicos e energéticos de diferentes sistemas de preparo e manejo do solo na implantação da cultura do feijão, concluíram que os sistemas conservacionistas, quando comparados com o sistema convencional, são mais econômicos e demandam menos energia, dependendo das condições de cobertura do solo antes do preparo.

Avaliando o desempenho de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de manejo do solo, Rodrigues e Gamero (2006)

observaram diferenças significativas na capacidade operacional efetiva e no consumo horário de combustível, e o plantio direto apresentou os melhores índices, independentemente da cobertura. Observaram também que a cobertura não influenciou significativamente o desempenho dos conjuntos. Relataram, ainda, que a velocidade de deslocamento dos conjuntos não apresentou diferença significativa em função do sistema de preparo e da cobertura vegetal.

2.3. Atributos físicos do solo

A estrutura do solo é essencial para a adaptação das culturas agrícolas e pode ser avaliada por meio de atributos físicos, como densidade, macro e microporosidade, estabilidade dos agregados, resistência à penetração e permeabilidade do solo que podem ser utilizados como indicadores das condições de adensamento e compactação do solo (NÓBREGA et al., 2005). Já Flores (2008) observou que esses atributos podem ser influenciados pela pressão exercida por máquinas e animais sobre a superfície do solo. Comentou que a avaliação do efeito dessas pressões é feita com base na mensuração desses atributos físicos que se relacionam com a compactação, destacando que eles podem interferir no rendimento das culturas.

A densidade e resistência do solo à penetração são atributos físicos importantes para caracterizar a compactação do solo (ANDREOLLA; GABRIEL FILHO, 2006). Já os microporos são importantes para reter e armazenar água no solo, enquanto os macroporos são responsáveis pela infiltração, redistribuição e aeração do solo (FERREIRA, 2010).

2.3.1. Densidade do solo

A densidade é um atributo físico do solo que, segundo Ruiz (2004), corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, corresponde ao volume do solo ao natural, incluindo o espaço poroso que ocupa a totalidade de um anel volumétrico, de volume conhecido, utilizado para retirar amostras indeformadas de solo. O método do anel volumétrico,

recomendado por esse autor para determinar a densidade, exige que as análises sejam feitas com base em amostras com a estrutura natural do solo preservada, pois leva em consideração o volume total do solo.

A utilização desse método (anel volumétrico) para avaliação da densidade do solo também foi sugerida por Gamero e Lanças (1996), que recomendaram, para caracterização desse atributo físico, análise em amostras retiradas em camadas de no mínimo 10 cm de espessura, devendo atingir, pelo menos, a profundidade de mobilização do solo quando esta for superior à mínima recomendada (0,10 m).

A densidade foi considerada por Aguiar (2008) um atributo físico que se relaciona com outras propriedades do solo, como: resistência do solo à penetração, porosidade total, distribuição do tamanho de poros e quantidade de água disponível no solo. Segundo essa autora, o aumento da densidade do solo provoca simultaneamente redução na porosidade de aeração e incremento na resistência do solo à penetração.

Ao compararem diferentes sistemas de cultivo (preparo convencional e plantio direto), Costa et al. (2006) constataram que os dois sistemas afetaram a densidade do solo de modo similar. No entanto, ao analisarem a densidade em função da profundidade, observaram valores mais altos nas camadas mais profundas (0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,30 m) em decorrência, provavelmente, do menor conteúdo de matéria orgânica e de acúmulo das pressões exercidas pelo tráfego intenso das máquinas e implementos agrícolas nessas camadas do solo que, ao longo do tempo, contribuiu para acentuar os efeitos sobre a sua densidade.

Observações semelhantes foram feitas por Pereira et al. (2010) ao avaliarem a influência da mecanização agrícola sobre características físicas de um cambissolo derivado de calcário. Esses autores constataram que o uso de práticas agrícolas de manejo do solo exerceu influência sobre a sua densidade, que aumentou com o preparo mecanizado do solo em decorrência do tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

Ao avaliarem os limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho, Reinert et al. (2008) concluíram que as raízes das plantas de cobertura apresentaram crescimento normal para valores de densidade do solo iguais

ou inferiores a $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$. Valores compreendidos no intervalo de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ apresentaram restrições com deformações na morfologia das raízes em grau médio e valores maiores que $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, níveis de deformação mais significativos, com ocorrências de engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração de raízes na camada mais superficial, sugerindo, nesse caso, necessidade de mobilização do solo para facilitar a penetração das raízes no solo.

2.3.2. Teor de água do solo

O método mais empregado para determinar o teor de água no solo é o gravimétrico padrão, com base na massa do solo seco em estufa na temperatura de 105°C – 110°C até atingir massa constante (GAMERO; LANÇAS, 1996). Para esses autores, a caracterização desse parâmetro, a exemplo da densidade do solo, deve ser realizada em camadas de no mínimo 10 cm de espessura, devendo atingir, pelo menos, a profundidade de mobilização do solo.

Ao estudar o efeito de diferentes mecanismos rompedores e níveis de pressões aplicadas pela roda compactadora sobre o desempenho de uma semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, Koakoski et al. (2007) constataram que o teor de água influencia a resistência do solo à penetração, a profundidade de deposição e a distância entre sementes, bem como o índice de velocidade de emergência das plântulas.

Os resultados das avaliações realizadas por Cunha et al. (2002) sobre o comportamento da resistência do solo à penetração em diferentes densidades e teores de água no solo também indicaram que o teor de água exerceu influência sobre o comportamento da resistência à penetração, pois esse atributo físico do solo diminuiu à medida que o teor de água aumentou. Já Boeni (2000), ao estudar o comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator, constatou que qualquer operação agrícola efetuada no solo com teor de água inadequado trará como consequência a deterioração de seus atributos físicos.

Silva (1999) considerou, contudo, essencial para evitar a compactação do solo que a execução das operações agrícolas seja precedida de avaliação do teor de água e de estimativa da deformação que ocorrerá caso as pressões a ele aplicadas excedam a sua capacidade de suporte de carga. Como a compactação do solo é causada pelo rearranjo de suas partículas sólidas, no momento em que esse fenômeno (compactação) ocorre, o teor de água no solo é determinante para estabelecer sua intensidade (CEPIK et al., 2005).

O teor de água no solo exerce influência também sobre a força necessária para tracionar máquinas e implementos agrícolas empregados na mobilização periódica do solo. Cepik et al. (2005) constataram que a força na barra de tração depende, entre outras variáveis, do teor de água no solo, pois, quando o solo está úmido, pode ocorrer problema com os mecanismos sulcadores devido à sua aderência ao implemento.

2.3.3. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo foi definida por Balastreire (1987) como a habilidade ou capacidade de um solo, em uma condição particular, de resistir a uma força aplicada. É considerada, por esse autor, uma propriedade dinâmica do solo, porque sua intensidade se modifica à medida que as forças são aplicadas e o solo se movimenta.

Uma propriedade dinâmica do solo se manifesta como resposta ou reação do solo às forças que lhe são aplicadas. A resistência à penetração é a reação do solo à ação de força aplicada através de ponteira cônica (GAMERO; LANÇAS, 1996).

A ASABE (2009) definiu por meio da norma ASAE S313.3FEB1999(R2009) que a resistência à penetração é equivalente à pressão exercida sobre o solo por um cone maciço com ângulo de 30°. Especificou dois padrões de cone com áreas de base diferentes - a área de um equivalente a 323 mm² e a do outro de 129 mm² -, recomendou o uso do penetrômetro de cone para solo e apresentou metodologia para realizar as medições.

Os penetrômetros de cone são aparelhos que auxiliam na determinação e avaliação da resistência mecânica de solos agrícolas, relacionando-a com compactação do solo e crescimento do sistema radicular das plantas (REINERT et al., 2007). Eles fornecem valores pontuais da resistência à penetração ao longo do percurso vertical da ponta cônica no perfil do solo (GAMERO; LANÇAS, 1996).

A resistência à penetração (índice de cone) é o método mais prático para se mensurar a compactação do solo, pois consiste em inserir uma ponta cônica no solo e medir a força exercida para penetrá-lo (DLG, 2011).

A avaliação da resistência do solo à penetração pode ser realizada por meio do índice de cone, definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica e expressa como a força por unidade de área da base do cone até determinada profundidade (CUNHA et al., 2002).

Na definição apresentada por Gamero e Lanças (1996), o índice de cone é a relação entre a força exercida para introduzir a ponta cônica do penetrômetro no solo, a dada profundidade, e a área da base do cone.

A resistência à penetração é resultante de forças de coesão entre as partículas do solo e definida principalmente pela densidade, teor de água e granulometria do solo (ANDREOLLA; GABRIEL FILHO, 2006). Constitui importante atributo físico, que varia com o teor de água e a densidade do solo (CUNHA et al., 2002). Tormena e Roloff (1996) observaram que ela exerce influência sobre o crescimento de raízes e serve como base para avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular.

Os valores de resistência do solo à penetração podem ser utilizados para verificar a mobilização do solo, determinar a eficiência residual de implementos de mobilização de solo e avaliar o potencial para o pleno desenvolvimento de raízes (CEPIK, 2002).

Não foi observado, na literatura especializada, consenso entre os autores sobre os valores de resistência do solo à penetração que são limitantes ao desenvolvimento das culturas. Valores de 2,0 MPa a 3,0 MPa têm sido considerados limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas (HAMZA; ANDERSON, 2005). Contudo, há

indicações de culturas que se desenvolvem normalmente até valores superiores a 3,5 MPa (TAVARES FILHO et al., 2001), assim como há plantas que sofrem limitações em valores de 1,4 MPa (FOLONI et al., 2003).

Ao avaliarem o desenvolvimento aéreo e radicular de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.) em solo submetido a quatro níveis de compactação, Foloni et al. (2003) concluíram que o sistema radicular do milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica da ordem de 1,4 MPa. Já Tavares Filho et al. (2001), ao estudarem, em condições de campo, os efeitos da estrutura, umidade e resistência do solo à penetração no desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.), sob sistemas convencional e de plantio direto, constataram que valores de resistência do solo à penetração superiores a 3,5 MPa não restringiram o desenvolvimento radicular do milho, mas influenciaram a sua morfologia. Nesse contexto, Aguiar (2008) destacou que plantas nativas intrínsecas de regiões onde predominam solos naturalmente endurecidos podem suportar valores bem mais expressivos que os citados anteriormente, uma vez que essas plantas possuem adaptações que garantem seu desenvolvimento.

Os valores da resistência do solo à penetração apresentam grandes variações em função das propriedades do solo, como teor de água, textura e densidade (CUNHA et al., 2002). Por essa razão, esses autores recomendaram relacionar informações complementares concernentes a essas propriedades aos valores da resistência do solo à penetração.

2.4. Sistema motomecanizado

A constituição de um sistema motomecanizado se faz no momento em que se acopla numa máquina motora uma ou mais máquinas movidas, com o objetivo de operacionalizar um processo, realizando trabalho útil (MIALHE, 1996). Para esse autor, um sistema motomecanizado é constituído por três elementos fundamentais: máquina motora, máquina movida e processo, assim definidos:

- Máquina motora: responsável pela conversão da energia natural em trabalho motor, que poderá ser teórico ou efetivo, dependendo das considerações sobre as perdas na conversão de energia.
- Máquina movida: responsável pela execução das operações e onde ocorrem resistências passivas (atrito e inércia) que, para serem vencidas, requerem a realização de trabalho resistente.
- Processo: responsável pela transformação do meio em que operam os órgãos ativos da máquina movida, de dada condição inicial para a condição final desejável; a operacionalização do processo, evidentemente, consome energia na forma de trabalho útil ou efetivo.

No sistema de plantio direto, a máquina motora comumente utilizada é o trator agrícola e a movida, a semeadora-adubadora. Quanto ao processo, pode ser descrito, de forma resumida, como a abertura de sulcos por meio de mecanismos sulcadores para deposição de adubo e sementes, com largura e profundidade suficientes para o desenvolvimento da cultura.

2.4.1. Trator agrícola

O trator agrícola constitui a mais importante fonte de potência utilizada na agricultura. Assim, torna-se da mais alta importância conhecer suas características de desempenho, reveladas pelos relatórios oficiais de ensaios. Nesse trator, segundo Mialhe (1974), a energia interna do combustível é transformada em energia mecânica no motor. E o trabalho mecânico desenvolvido no motor é aplicado no acionamento de máquinas e implementos através dos seguintes meios: sistema hidráulico, tomada de potência e barra de tração, assim definidos:

- Sistema hidráulico: responsável pelo levantamento e posicionamento em condições operacionais adequadas dos órgãos ativos das máquinas e implementos que são acoplados ao trator.
- Tomada de potência (TDP): fornece energia mecânica em movimento de rotação, para acionamento de órgãos ativos rotativos.
- Barra de tração: destinada a desenvolver a força de tração exigida pelas máquinas e implementos, cujos órgãos ativos executam operações através de deslocamentos na área a ser trabalhada.

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia contida no combustível e fornecê-la, através da barra de tração, para tracionar máquinas e implementos agrícolas (GABRIEL FILHO et al., 2010). Segundo esses autores, o desempenho na barra de tração de um trator depende, principalmente, da potência do motor, dos mecanismos de transmissão, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo.

Segundo Goering et al. (2006), o desenvolvimento da mecanização agrícola ocorrida no século XX deveu-se, principalmente, à evolução do trator que, por ocasião das duas grandes guerras, recebeu grande avanço tecnológico, deixando de ser um simples substituto da força animal para se tornar uma máquina para usos múltiplos. A primeira evolução foi a transformação de motores a vapor em máquinas autopropelidas. Para esses autores, a Lei Teste de Trator de Nebraska de 1919, que determinou a obrigatoriedade de todo trator vendido no Estado de Nebraska, EUA, ser testado e os resultados publicados, bem como de os fabricantes manterem adequado suprimento de componentes para reparos, foi muito importante para a evolução dos tratores e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da mecanização agrícola no mundo inteiro.

2.4.2. Semeadora-adubadora

A semeadora-adubadora é uma máquina agrícola que simultaneamente dosa e deposita no solo as sementes e o adubo utilizados na instalação de culturas (BALASTREIRE, 1987). Segundo esse autor, essa máquina pode ser classificada de diversas maneiras, com base em algumas de suas características, entre as quais se destacam as formas de distribuição de sementes, de acionamento e de acoplamento à fonte de potência. Quanto à forma de distribuição de sementes, ela pode ser a lanço ou em linha (fluxo contínuo, precisão, quadrado e grupos); quanto à forma de acionamento, pode ser manual, de tração animal, motorizada e tratorizada; e quanto à forma de acoplamento à fonte de potência, pode ser montada, semimontada e de arrasto.

Na definição apresentada pelo referido autor, semeadora de precisão é aquela que no momento da distribuição é capaz de dosar as sementes, preferencialmente uma a uma; manter uniforme o espaçamento entre elas; e garantir, na linha de semeadura, pequena variação no número e posição das sementes. Já a semeadora-adubadora de precisão, na definição apresentada por Coelho (1996), é uma máquina agrícola destinada a promover a dosagem e deposição de sementes e adubo em fileiras sob a superfície do solo, segundo condições preestabelecidas em função das características agronômicas da cultura. Quando for acionada e deslocada pelo trator agrícola, será classificada como tratorizada. Nesse caso, se for integralmente acoplada ao sistema de levante hidráulico (três pontos) do trator, será classificada também como montada (BALASTREIRE, 1987).

Uma semeadora-adubadora deve cumprir, no mínimo, as seguintes funções, de acordo com Silva e Santos (2000):

- Cortar a palha exposta na superfície do solo antes de abrir o sulco inicial;
- abrir o sulco no solo;
- promover a dosagem apropriada de sementes e adubo;
- posicionar as sementes e o adubo no sulco uniformemente distribuídos, mantendo a distância e profundidade adequadas;
- posicionar o adubo a uma distância de aproximadamente 5 cm a frente e 5 cm abaixo da semente;
- cobrir as sementes e o adubo com o solo; e
- compactar o solo nas laterais da semente, permitindo maior contato entre ambos, no sentido de facilitar a absorção de umidade.

São máquinas constituídas basicamente de chassi; depósitos de sementes e adubo; mecanismos dosadores de sementes e adubo; disco de corte de resíduo, mecanismos sulcadores integrantes dos sistemas de deposição de sementes e adubo; mecanismos cobridores de sementes; rodas compactadoras; rodas de controle de profundidade de semeadura; rodas de sustentação; e rodas de acionamento dos mecanismos de transmissão e marcadores de linhas (BALASTREIRE, 1987; COELHO, 1996).

A semeadora-adubadora utilizada no sistema de plantio direto é uma máquina que realiza a implantação de culturas anuais através da semeadura em terrenos onde não foi realizado o preparo periódico do solo e com a presença de cobertura vegetal. Mobiliza o mínimo necessário de solo apenas nas linhas de semeadura, tornando possível a realização da semeadura logo após a colheita da cultura anterior (DELMOND, 2009). A configuração de montagem da linha de plantio pode ser modificada em função dos atributos físicos do solo e de exigências da cultura a ser implantada.

A semeadora-adubadora pode ser classificada também pelo número de linhas. Para Bordignon (2005), uma linha pode ser definida como uma sequência completa de elementos ativos que compõem as funções de abertura e fechamento do sulco, em que são realizadas as operações de semeadura e adubação. Para esse autor e para Cepik (2002), as configurações das semeadoras-adubadoras podem variar dependendo da região onde serão utilizadas e da cultura a ser implantada. Esclarecem, entretanto, os citados autores que a configuração de montagem da linha de semeadura pode variar, dependendo da combinação dos elementos empregados na montagem. Variações nos tipos de disco de corte, nos elementos sulcadores e na roda compactadora são suficientes para alterar a configuração de montagem das linhas de semeadura e adubação.

Problemas relacionados ao desempenho da semeadoras-adubadoras têm exigido constantes adaptações nessa máquina agrícola. Segundo Delmond (2009), são frequentes os problemas relacionados ao corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura inadequada de sulcos, aderência do solo aos componentes, profundidade de semeadura desuniforme, cobertura deficiente do sulco de semeadura e contato inadequado do solo sobre as sementes. No entanto, não é raro encontrar, no campo, semeadoras-adubadoras operando sem estar devidamente reguladas. O procedimento de regulagem, muitas vezes, é negligenciado pelos operadores e empreendedores agrícolas e, ao longo do tempo, esse comportamento tende a prejudicar o desempenho operacional da máquina.

Nesse contexto, muitos problemas operacionais apresentados pela semeadora-adubadora poderiam ser minimizados com a adoção de

procedimentos simples, como os de verificação e correção das regulagens recomendadas pelo fabricante, já que operar a máquina devidamente regulada é uma condição essencial para se garantir uma qualidade satisfatória do plantio.

Os fabricantes dessas máquinas geralmente recomendam que as regulagens sejam feitas antes e durante o plantio, sempre que houver necessidade. Advertem, nos manuais, que o sucesso do plantio depende, em grande parte, da perfeita regulagem da semeadora-adubadora (SEED-MAX, 2011).

Segundo Balastreire (1987), é recomendável verificar e, se necessário, corrigir as seguintes regulagens de uma semeadora-adubadora: nivelamento nos planos longitudinal e transversal à direção de deslocamento; espaçamento entre linhas de plantio; quantidade de adubo e de sementes depositados no sulco; distância entre sementes e adubo; profundidade de deposição das sementes; profundidade de deposição do adubo; posicionamento das rodas de sustentação; posicionamento dos marcadores de linhas; posicionamento das rodas compactadoras; entre outros. Já Coelho (1996) advertiu que as regulagens das semeadoras-adubadoras devem ser realizadas considerando-se as recomendações agronômicas para determinação do espaçamento entre linhas, razão de distribuição e profundidade efetiva, tanto para semeadura quanto para adubação, e posição relativa entre semente e adubo.

Para a operação de semeadura direta ser considerada eficiente é essencial que o corte dos restos culturais seja devidamente realizado; que a abertura do sulco e a deposição de sementes e adubos sejam realizadas em profundidades corretas e devidamente colocadas em contato com o solo; e que haja regularidade na dosagem e na distribuição de sementes (CEPIK, 2002). Para essa autora, o desempenho da semeadora-adubadora, a correta regulagem de seus componentes e a operação adequada do conjunto mecanizado influenciam diretamente na produtividade das culturas.

2.5. Mecanismos sulcadores de solo

As semeadoras-adubadoras utilizam mecanismos sulcadores para promover aberturas de sulcos e possibilitar a deposição, no solo, das sementes e do adubo em profundidades adequadas para cada cultura, propiciando condições ideais de germinação e desenvolvimento inicial de plantas (BALASTREIRE, 1987; CEPIK, 2002).

Considerando que as condições para o desenvolvimento das culturas dependem do tipo de solo e do teor de água, entre outras variáveis, fica evidente que o projeto de mecanismo sulcador não pode ser limitado a um único tipo capaz de ser usado para qualquer situação. Existem diferentes tipos de mecanismos sulcadores empregados em semeadoras-adubadoras para plantio direto (MION; BENEZ, 2008). Contudo, os mais utilizados continuam sendo o disco simples, o disco duplo e o facão. O disco simples é indicado para solos contendo restos de cultura, pequenas pedras ou raízes espalhadas sobre a superfície. Como não produz sulco perfeito devido à sua forma construtiva, normalmente é utilizado onde esse fator não é limitante, como no caso de semeadura de grãos miúdos, principalmente trigo, arroz e outras gramíneas. Já o disco duplo alia a capacidade de trabalhar em terrenos com restos de cultura do disco simples, com a precisão do sulco aberto, permitindo maior exatidão no posicionamento das sementes que são depositadas na profundidade requerida pela cultura. Por isso, é indicado para solos recém-desbravados contendo pedras, raízes ou, mesmo, cobertura vegetal sobre a superfície, como é comum ocorrer no caso da semeadura direta. O facão é normalmente indicado para operar em solos que já foram preparados anteriormente e se encontram livres de tocos, pedras ou restos de cultura sobre a superfície (BALASTREIRE, 1987).

O desempenho operacional dos mecanismos sulcadores pode, entretanto, ser afetado por diversos fatores. Entre os principais, Siqueira e Casão Júnior (2004) destacaram a forma geométrica do mecanismo sulcador, as características e propriedades físicas do solo (textura, densidade e resistência à penetração), a quantidade de resíduo vegetal, a pressão exercida pela semeadora-adubadora, a profundidade e a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Estudos realizados por Koakoski et al. (2007) evidenciaram que solos com textura muito argilosa prejudicam o desempenho das semeadoras-adubadoras. Já Portella et al. (1997), ao avaliarem o índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta, observaram que a profundidade da semeadura foi influenciada pelo teor de água do solo. Em solos com baixo teor de água, as semeadoras-adubadoras equipadas com o mecanismo sulcador tipo facão colocaram sementes em maior profundidade do que as com discos duplos. Nos mais úmidos ocorreu o contrário, indicando, na opinião desses autores, problemas de embuchamento ou aderência de solo ao facão.

Ao avaliarem os esforços de cinco diferentes mecanismos de abertura de sulco de semeadoras de plantio direto variando a carga vertical, Mion e Benez (2008) constataram que a carga vertical influenciou na profundidade de trabalho dos mecanismos de abertura de sulco. Também, observaram que o mecanismo sulcador do tipo disco duplo, quando comparado à haste, necessita de maior força vertical para penetrar o solo. No entanto, na maioria das semeadoras-adubadoras a profundidade de semeadura depende de regulagem mecânica, realizada com o propósito de ajustar a diferença de nível entre o mecanismo sulcador montado no sistema de deposição de sementes e a roda de controle de profundidade, e quanto maior essa diferença de nível, maior a profundidade da semeadura. As sementes e o adubo são depositados nos sulcos simultaneamente com a abertura destes (sulcos), por meio de tubos condutores localizados na parte posterior dos mecanismos sulcadores tipo disco duplo e facão, e, imediatamente após, parte do solo removido pelo mecanismo sulcador retorna para dentro do sulco, fechando-o parcialmente sobre o adubo e as sementes (BALASTREIRE, 1987).

Ao avaliarem o desempenho de mecanismos sulcadores, Bertol et al. (1997) relacionaram diferentes tipos de sulcadores com as variáveis rugosidade e cobertura vegetal, concluindo, ao final, que essa cobertura é eficaz no controle de plantas invasoras e na proteção da linha de semeadura, pois elimina a competição gerada por elas com a cultura estabelecida. Com base nessa constatação, recomendaram a utilização de sulcadores que proporcionem menor largura de sulco. No entanto, em áreas

com boa cobertura de solo o uso de semeadoras equipadas com facão provoca, na maioria das vezes, o rastelamento da palha; quando equipadas com disco de corte, é comum a distribuição superficial das sementes, o que dificulta a obtenção de adequado estande inicial das culturas (KOAKOSKI et al., 2007). Porém, Portella et al. (1997), ao avaliarem a influência de elementos rompedores de solo, tipos disco duplo e facão sobre o índice de emergência do milho em plantio direto no Sul do Brasil, não encontraram diferença significativa entre os dois mecanismos.

Destaca-se, entretanto, que para realizar satisfatoriamente suas funções os mecanismos sulcadores devem, necessariamente, estar em bom estado de conservação. Segundo Machado et al. (1996), os elementos sulcadores desgastados tendem a abrir sulcos irregulares, tanto no formato quanto na profundidade.

2.5.1. Disco simples

Os mecanismos sulcadores de disco podem ser simples ou duplos, conforme utilizem em sua construção um ou dois discos. Pelo fato de rodarem em vez de deslizarem sobre o solo, apresentam maior facilidade para abrir os sulcos e cortar as palhas ou os resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo. Os discos simples abrem o sulco só por um lado, por esse motivo não possuem precisão para depositar corretamente o adubo ou as sementes no solo. Os discos duplos abrem o sulco por meio do corte e compressão do solo, na forma de um “V”, no fundo do qual é depositado o adubo ou a semente, ficando, esses insumos, portanto, corretamente posicionados no solo (BALASTREIRE, 1987).

O disco simples das semeadoras-adubadoras utilizadas no sistema de plantio direto é chamado de disco de corte quando tem as funções de cortar os resíduos vegetais depositados na superfície do solo e facilitar a ação dos mecanismos sulcadores montados nos sistemas de deposição de adubo e sementes. Existem discos de corte com diferentes diâmetros e formatos. Os formatos mais comuns são: o plano, o liso, o ondulado, o estriado e o corrugado (FAGANELLO et al., 1992). Esses

autores destacaram, entretanto, que os discos planos e estriados cortam melhor os resíduos vegetais e demandam menos peso para penetrar o solo.

A utilização desse disco (para corte de resíduos vegetais) posicionado à frente dos mecanismos sulcadores e a realização da operação de semeadura em condições adequadas de umidade do solo contribuem para resolver dois dos principais problemas enfrentados pelos agricultores na semeadura direta: obstrução dos órgãos ativos e aderência de solo aos mecanismos montados nos sistemas de deposição de adubo e sementes da máquina. Ao adotar esses procedimentos, garante-se a manutenção das hastes e dos discos duplos livres de obstruções parciais ou totais, deixando-os em plenas condições de realizar corretamente a operação de semeadura (CEPIK, 2006).

A adoção desses procedimentos contribuiu para melhorar o rendimento operacional da semeadora equipada com cinco linhas de semeadura e hastes sulcadoras (facão) no sistema de deposição de adubo, reduzindo em 50% os esforços demandados pela máquina (BEUTLER, 2005). Ainda assim, de acordo com estudos realizados por Portella e Faganello (1984), os mecanismos de abertura de sulco do tipo disco apresentam menor requerimento de força para tração que o facão, embora exijam maior força para penetração no solo.

Contudo, se deixarem de cumprir a sua função principal que é cortar com eficiência a vegetação e, ou, os resíduos vegetais deixados na superfície do solo, os discos de corte podem interferir no desempenho da semeadora-adubadora. Deficiências nessa operação de corte podem causar acúmulo de material nos sulcadores e, por consequência, problemas na deposição do adubo e das sementes. Dependendo da intensidade do acúmulo, podem ocorrer “embuchamentos” que prejudicam o rendimento operacional da máquina, pois as limpezas realizadas para remover o material acumulado são feitas com a máquina parada. Outro fato que merece destaque é a ocorrência de deposição dos resíduos vegetais em faixas que, normalmente, resultam em deficiência de germinação, falhas na cobertura da semente e maior infestação por plantas daninhas (SIQUEIRA; CASÃO JÚNIOR, 2004).

2.5.2. Disco duplo defasado

O mecanismo sulcador do tipo disco duplo ainda é o modelo mais utilizado no Brasil devido à sua versatilidade e, também, pelo fato de mobilizarem menor volume de solo quando comparado a outros tipos disponíveis no mercado. Esse tipo de mecanismo sulcador trabalha associado a um terceiro disco, cuja função é cortar os resíduos vegetais deixados na superfície do solo, porém apresenta inúmeras limitações operacionais. A maior delas relaciona-se ao sistema de deposição de adubos, principalmente, quando se pretende operar em profundidades maiores que 0,07 m em solos argilosos ou levemente compactados (COELHO, 1998).

Esse tipo de mecanismo sulcador, quando comparado ao facão, apresenta menor capacidade de corte e, conseqüentemente, menor capacidade de penetração no solo, requerendo uma carga superior à componente vertical de reação do solo para conseguir penetrá-lo (FAGANELLO et al., 2008).

Siqueira et al. (2002) destacaram, no entanto, que a rotação de culturas com plantas de cobertura como o nabo pivotante, aveia, centeio e milheto, quando utilizada adequadamente, aumenta a porosidade do solo e permite o uso de discos duplos ou simples na abertura de sulcos em vez de hastes sulcadoras.

Nos solos com textura muito argilosa, a utilização de disco duplo na implantação de uma cultura apresenta muitos riscos, pois a grande resistência desse solo à penetração impede os discos de aprofundarem mais do que 6 cm, deixando as sementes muito próximas do adubo. Além disso, os discos apresentam maior exigência de manutenção e são mais caros (SIQUEIRA et al., 2002).

Os discos de pequeno diâmetro apresentam capacidade razoável de corte dos resíduos e de penetração em solos argilosos. Entretanto, seu desempenho não é totalmente satisfatório devido à variação da profundidade de trabalho em decorrência de uma característica inerente a esse tipo de mecanismo sulcador que o faz flutuar sobre camadas duras do solo. Em solos de textura arenosa, a profundidade de semeadura desejada nem

sempre é obtida, devido ao desmoronamento prematuro das laterais do sulco; em solos argilosos, os lados dos sulcos podem ser compactados, resultando em baixos índices de germinação (MACINTIRE et al., 1986).

2.5.3. Facção

As hastes, também denominadas facções, são ferramentas planas com superfícies de formatos variados e ponteiros na extremidade, cuja função é cortar, penetrar e abrir sulco no solo (SIQUEIRA et al., 2002). Foram desenvolvidas para resolver uma limitação técnica identificada na utilização do disco duplo que apresentava baixo desempenho operacional em profundidades superiores a 0,07 m. Geralmente, são utilizadas no sistema de deposição de adubo em razão da sua capacidade de operar em profundidades de até 0,15 m. Nesse caso, ao ser montada na linha de plantio deve trabalhar associada a um mecanismo sulcador do tipo disco duplo, montado no sistema de deposição de sementes (COELHO, 1998).

O uso desse tipo de mecanismo sulcador (facção) nas semeadoras diretas tem se generalizado como alternativa para romper a compactação superficial dos solos, o que se constitui em uma das principais restrições para a expansão do sistema de plantio direto (SIQUEIRA et al., 2002).

Essas ferramentas (mecanismos sulcadores do tipo facção) podem possuir diferentes ângulos de ataque que facilitam sua penetração no solo e evitam que as semeadoras equipadas com esse mecanismo dependam somente da transferência de peso da máquina para promover a penetração, no solo, dos discos de corte de resíduos e dos discos duplos montados no sistema de deposição das sementes (CEPIK, 2002).

Observações feitas por Casão Júnior et al. (2000) ao avaliarem semeadoras-adubadoras apontaram que as hastes sulcadoras com ângulo de ataque de 20° e espessura da ponteira de 0,02 m apresentam bons resultados operacionais, indicando que hastes com essas características podem ter um esforço vertical que reduz a necessidade de peso adicional à semeadora-adubadora.

Estudo desenvolvido pela área de Engenharia Agrícola do IAPAR com o objetivo de avaliar a força e a potência requerida por 13 modelos de

hastes comerciais, trabalhando em uma mesma profundidade, evidenciou diferença de até 60% na força, a qual variou entre 140 e 225 kgf. Tal variação é função, principalmente, do projeto e *design* da haste, do ângulo de ataque e da largura da ponteira, que nesse estudo variou de 0,013 a 0,041 m. Também, apontou que o uso de haste com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20° e espessura máxima da ponteira de 0,022 m pode representar até 50% de redução na potência requerida para tração de uma semeadora-adubadora de plantio direto montada com nove linhas (SIQUEIRA et al., 2002). Já Faganello et al. (2008), ao estudarem os efeitos de mecanismos sulcadores de solo em semeadoras para plantio direto, constataram que facões com espessura da ponteira superior a 0,025 m tendem a promover leito de semeadura irregular, em razão da formação de torrões que, além de posicionarem as sementes em profundidades irregulares, prejudicam a germinação. Esse problema pode aumentar se a operação de semeadura for realizada em solo com umidade fora da faixa de friabilidade (CASÃO JÚNIOR et al., 2000). Estes autores observaram aumento na área de solo mobilizado com o incremento da velocidade da máquina quando o solo estava muito úmido, próximo da consistência plástica (37,7% de umidade), e também quando estava mais seco, ou seja, com umidade pouco abaixo da friável (32,0% de umidade). Na condição mais próxima da friável (36,9%), não foi observado esse efeito.

A operação de semeadura com haste no plantio direto pode apresentar deficiências quanto à cobertura e compactação de solo sobre as sementes. As hastes mais largas abrem demasiadamente o sulco, reduzindo a cobertura morta sobre o terreno e prejudicando a implantação das culturas em função de maiores perdas de água por evaporação. As mais estreitas apresentam sulcos menores e com mais palha na linha (SIQUEIRA et al., 2002). Já Camilo et al. (2004), avaliando a influência de diferentes tipos de mecanismos rompedores e velocidade de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto de feijão, obtiveram melhor contato solo-semente com o facão, o que proporcionou maior porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas.

O mecanismo sulcador tipo facão apresenta maior capacidade de penetração no solo que o disco duplo (SIQUEIRA et al., 2002), bem como

proporciona maior profundidade de deposição de sementes (KOAKOSKI et al., 2007). Devido à maior profundidade do sulco, tende a mobilizar maior volume de solo e, conseqüentemente, demanda maior esforço de tração e potência dos tratores e, por conseqüência, maior consumo de combustível (MAHL et al., 2007).

2.6. Desempenho operacional de máquinas agrícolas

O desempenho operacional de máquinas agrícolas pode ser definido como um complexo conjunto de informações que determinam, em termos quali-quantitativos, seus atributos quando executam operações sob determinadas condições de trabalho. Essas informações podem ter características operacionais, relativas à qualidade e quantidade de trabalho; dinâmicas, relativas à potência requerida e à velocidade de deslocamento; e de manejo, relativas às regulagens e manutenção das máquinas (MIALHE, 1974). Já para Araújo et al. (2001) a avaliação do desempenho de modelos comerciais de máquinas agrícolas visa, principalmente, gerar recomendações aos produtores interessados na aquisição dessas máquinas, bem como sugerir, às indústrias fabricantes, alterações nos projetos de seus produtos, adequando-os às condições edafoclimáticas limitantes das diversas regiões brasileiras. Para esses autores, a avaliação deve abranger um conjunto de parâmetros fundamentais na seleção da máquina agrícola, os quais podem ser divididos em três grupos principais: Parâmetros de demanda energética, Parâmetros de desempenho agrônômico e Parâmetros morfológicos.

A análise da demanda energética tem como objetivo identificar o requerimento de potência da máquina agrícola em condições reais de operação e nas configurações mais utilizadas, de modo a auxiliar na seleção do conjunto mecanizado (trator-implemento). Na análise do desempenho agrônômico, deve ser avaliada a capacidade de atendimento das recomendações fitotécnicas para implantação das culturas de interesse. Já a análise morfológica visa à identificação dos aspectos construtivos, de regulagem, manutenção e operação da máquina que podem constituir limitações para um desempenho geral satisfatório (ARAÚJO et al., 2001b).

Mahl et al. (2007) comentaram, contudo, que na avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras de plantio direto, além da configuração e velocidade de deslocamento da máquina, outros fatores importantes devem ser considerados na análise. Destacam, entre os principais, o tipo e estrutura do solo, bem como as condições de cobertura da superfície, pois são fatores que podem interferir na qualidade e rendimento operacional e econômico da operação de semeadura.

Estudos realizados por Cepik (2006) indicaram que o contacto dos elementos ativos das máquinas agrícolas, como pneus e mecanismos sulcadores dos tipos disco e haste sulcadora, com o solo é diferenciado em função das características da cobertura vegetal, que podem variar em quantidade, tamanho de partículas e posicionamento das partículas sobre o solo.

Contudo, para os tratores agrícolas o desempenho na barra de tração depende, principalmente, da potência do motor, dos mecanismos de transmissão, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo (GABRIEL FILHO et al., 2010).

2.6.1. Velocidade de deslocamento

Matematicamente, a velocidade é definida como a relação entre deslocamento e intervalo de tempo. Nas operações agrícolas, a velocidade de deslocamento pode ser definida como a relação entre a distância efetivamente percorrida pela máquina e o tempo consumido nesse percurso, sendo medida, na maioria das vezes, em quilômetros por hora.

No campo experimental, a velocidade média de deslocamento da máquina pode ser determinada por meio da razão entre as variáveis espaço percorrido na área-padrão de ensaio e o tempo cronometrado nesse percurso. Nesse caso, o espaço percorrido na parcela é predeterminado e, normalmente, varia de 30 a 50 m, medido com trena e demarcado por balizas. O tempo no percurso balizado é obtido através de cronômetro, devendo este ser acionado quando o referencial utilizado na máquina coincidir com a baliza inicial e, desligado, quando ele coincidir com a baliza indicativa de final do percurso (GAMERO; LANÇAS, 1996).

Toda e qualquer operação com máquinas agrícolas deve levar em consideração a velocidade de deslocamento do conjunto máquina-implemento agrícola, uma vez que essa variável influencia o consumo de combustível, a demanda de tração e a qualidade do serviço (SILVEIRA, 2008).

No entendimento de Siqueira (2008), a velocidade de deslocamento é um dos parâmetros que mais influenciam no desempenho operacional de semeadoras. Isso porque a velocidade afeta diretamente a distribuição longitudinal das sementes na linha de semeadura e nas possíveis quebras ou danos sofridos por elas, principalmente nos dosadores mecânicos para sementes, influenciando no rendimento da cultura.

Já na opinião de Vieira e Reis (2001) a velocidade ideal de semeadura é aquela em que o sulco é aberto e fechado sem revolver exageradamente o solo e que permite a distribuição das sementes e insumos com espaçamentos e profundidades constantes. Para Nagaoka e Nomura (2003), essa velocidade varia de 5 km h^{-1} a 7 km h^{-1} e influencia no desempenho das semeadoras.

Balastreire (1987) considerou a velocidade de deslocamento muito importante para a operação de semeadura, pois influencia na distribuição das sementes e nas possíveis quebras ou danos sofridos por elas, principalmente nos dosadores mecânicos de sementes. Para esse autor, a escolha da velocidade de deslocamento deve levar em conta o tipo de semente e de dosador utilizados. Para dosadores mecânicos, as velocidades recomendadas para os diversos tipos de sementes estão compreendidas no intervalo de 5 km h^{-1} a 8 km h^{-1} .

A qualidade de semeadura e produtividade das culturas são, segundo Possebon (2011), fortemente influenciadas pela velocidade de deslocamento em semeadoras de precisão. Esse autor destacou o fato de velocidades mais elevadas aumentarem a capacidade operacional do equipamento e reduzirem custos operacionais. No entanto, para o referido autor, se ultrapassados determinados valores considerados ideais, isso pode comprometer o sucesso da semeadura.

Ao avaliar diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamento na cultura do milho, Silva (2004) observou que a velocidade de

deslocamento se relaciona com a força de tração e com a profundidade de deposição de adubo e sementes. Observou também que a semeadura direta foi o sistema que exigiu menor força média de tração e, conseqüentemente, obteve maior velocidade de deslocamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Piffer e Benez (2009) ao avaliarem a demanda energética de uma semeadora de fluxo contínuo em três sistemas de manejo do solo. Os resultados obtidos por esses autores evidenciaram que, nas operações de semeadura de nabo-forrageiro e nabiça, a maior velocidade de deslocamento foi observada no manejo com semeadura direta.

Mahl et al. (2004), por sua vez, avaliando a demanda energética e a eficiência da distribuição de sementes de uma semeadora-adubadora em solo argiloso, concluíram que a velocidade de deslocamento interferiu no desempenho do conjunto trator-semeadora com relação à demanda energética e à capacidade de campo efetiva. A elevação da velocidade de $4,4 \text{ km h}^{-1}$ para $8,1 \text{ km h}^{-1}$ proporcionou aumento de 86% na capacidade operacional do conjunto, com incremento de 96% na demanda de potência na barra de tração e redução de 26% no consumo operacional de combustível. Esses autores observaram, também, que a variação da velocidade não interferiu no estande inicial de plantas e que a melhor precisão na distribuição de sementes ocorreu na menor velocidade de deslocamento ($4,4 \text{ km h}^{-1}$). A maior velocidade de deslocamento ($8,1 \text{ km h}^{-1}$), ao contrário, foi a que proporcionou menor percentual de espaçamentos normais e aumento no percentual de espaçamentos múltiplos e falhos, além de maior coeficiente de variação e pior índice de precisão.

Furlani et al. (2008), contudo, ao avaliarem o desempenho do conjunto trator-semeadora em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque da haste sulcadora de adubo, observaram que a capacidade de campo teórica, o requerimento de potência e o consumo horário volumétrico de combustível foram maiores à medida que a velocidade de deslocamento aumentou. Já Cortez et al. (2008), ao avaliarem o desempenho de um trator agrícola sob sistemas de plantio direto e convencional, em velocidades de 4 km h^{-1} , 5 km h^{-1} e 7 km h^{-1} , concluíram que o aumento da velocidade de deslocamento elevou a eficiência da

operação, pois proporcionou diminuição no consumo efetivo ($L\ ha^{-1}$) e específico ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$) de combustível.

2.6.2. Força de tração

A força necessária para deslocar a máquina agrícola no campo, com seus órgãos ativos mobilizando o solo, tem sido designada esforço tratório e pode ser definida como a força resultante de um conjunto de forças de reação oriundas da resistência do solo e de momentos que atuam no chassi da máquina e, ou, do implemento agrícola (GAMERO; LANÇAS, 1996).

Esses autores esclareceram que, no plano vertical longitudinal, o esforço tratório é decomposto em duas forças, sendo uma a componente vertical, que é a força que tende a fazer o órgão ativo penetrar o solo, também conhecida como “de sucção” ou de “flutuação”; e a outra, a componente horizontal, paralela à superfície do solo e coincidente com a direção de deslocamento da máquina, que é denominada força de tração. Comentaram que a mensuração da força de tração é realizada por meio de dinamômetro e que, para realizar a referida mensuração, é necessário instalar a célula de carga na linha de tração e medir o esforço tratório. A força de tração é calculada efetuando-se a multiplicação do valor do esforço tratório pelo cosseno do ângulo de inclinação da linha de tração que, evidentemente, também deverá ser conhecido (GAMERO; LANÇAS, 1996).

O modelo proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2011b) por meio da norma ASAE D497.7MAR2011 prevê a relação entre velocidade de deslocamento e força requerida para tração da semeadora-adubadora como uma função quadrática. No entanto, Santos (2010) determinou um modelo de demanda de tração para predição do desempenho de tratores em operação de semeadura direta, com base em valores representativos das condições de solo e máquinas brasileiras, cuja relação entre as variáveis é linear. Contudo, no entendimento de Silveira et al. (2013) a exigência de força de tração em semeadoras varia em função de diversos fatores, como tipo de solo e de cobertura, mecanismos sulcadores, tamanho da máquina,

profundidade e velocidade de semeadura e adubação, teor de água e preparo do solo.

A força de tração é um parâmetro importante na avaliação do desempenho energético de implementos agrícolas utilizados em mobilização de solo, segundo Bonini et al. (2008), que destacaram a influência da profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores e da velocidade de deslocamento sobre essa variável. Já Silva (2003) comentou que o emprego de hastes sulcadoras, em substituição aos discos duplos, aumenta o requerimento de força de tração e o consumo de combustível, diminuindo a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora, se mantido o mesmo número de linhas de plantio. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2008), que constataram influência do tipo de mecanismo sulcador montado no sistema de deposição de adubo sobre a força de tração. Ao utilizarem o facão e compararem os resultados, os autores observaram aumentos na exigência de tração, consumo de combustível e patinagem, em relação ao uso do disco duplo.

O teor de água, a textura e as condições de cobertura da superfície do solo são fatores que podem interferir na eficiência em tração de um trator agrícola (YANAI et al., 1999).

Os resultados de estudos realizados por Conte et al. (2008) indicaram que a resistência do solo à penetração e a força de tração requerida por haste sulcadora de semeadora-adubadora apresentaram correlação significativa e positiva, evidenciando que essa última variável pode ser útil para o diagnóstico do estado de compactação do solo. Mostraram também que a relação entre as variáveis (força de tração e a resistência do solo à penetração) variou com o tipo e profundidade de atuação da haste, assim como em função do teor de água no solo. Esses autores destacaram que esses fatores devem ser considerados quando do emprego da força de tração na avaliação do grau de compactação do solo.

Ao avaliarem a força de tração demandada e o volume de solo mobilizado por hastes sulcadoras de adubo, em diferentes estados de consistência de um argissolo, em semeadura direta sobre campo nativo dessecado, Cepik et al. (2005) concluíram que houve aumento na demanda de tração com o incremento da profundidade de atuação da haste, e sua

intensidade dependeu do estado de consistência do solo. Constataram também que o aumento da velocidade não influenciou na força de tração da haste em solos secos e úmidos, porém na condição de friabilidade essa variável apresentou valores maiores. Já Bortolotto et al. (2006), ao avaliarem a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora na implantação da cultura da soja, concluíram que a força de tração foi influenciada pela velocidade de deslocamento e pelas condições de cobertura. Segundo esses autores, os maiores valores de força de tração foram obtidos na maior velocidade ($7,2 \text{ km h}^{-1}$) e na condição de cobertura com vegetação espontânea.

2.6.3. Potência

Na transmissão de potência do motor de tratores agrícolas para a barra de tração ocorrem perdas de energia que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perdas de potência (GABRIEL FILHO et al., 2010), apresentando, em consequência, condições inadequadas para a tração e consumo excessivo de combustível (SANTOS, 2010).

Ao avaliarem a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto na semeadura da cultura do milho, Silveira et al. (2013) observaram que o requerimento de potência na barra de tração, média, por linha de semeadura, por profundidade do sulco e por área mobilizada, aumentou com o incremento da velocidade de operação do conjunto mecanizado. Foram utilizadas, nesse trabalho, quatro velocidades de deslocamento, obtidas em função dos escalonamentos de marchas e de três rotações do motor do trator. Esses autores destacaram a constatação de forte correlação entre a potência média requerida na barra de tração e a velocidade de deslocamento, além do fato de a cada aumento na velocidade de deslocamento ocorrer incremento de 4,11 kW na demanda de potência requerida na barra de tração. Nesse trabalho, foi constatado também que o aumento na velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$ para $7,0 \text{ km h}^{-1}$ provocou incremento de 102,89% na demanda de potência.

Os resultados de Modolo et al. (2004), ao avaliarem o desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão na implantação da cultura do milho em solo de textura argilosa e em função de duas velocidades de deslocamento, mostraram que as velocidades influenciaram na potência média requerida na barra de tração e que os maiores valores de potência foram observados na velocidade V2 (8,4 km h⁻¹). Mostraram também que o requerimento de potência na barra de tração solicitado pela semeadora S1 (PSE8/Semeato) foi 16% maior que na semeadora S2 (PST2/Tatu). Essa diferença pode ser atribuída ao fato de a semeadora S1 estar equipada com o mecanismo sulcador tipo guilhotina, enquanto a semeadora S2 estava com disco duplo defasado. Já Gabriel Filho et al. (2010), ao avaliarem a capacidade de um trator em desenvolver força de tração ao tracionar uma carga de 25 kN, em quatro velocidades de deslocamento e em três condições da superfície do solo (mobilizado, coberto com resíduos vegetais provenientes da cultura do milho e braquiária e solo firme sem cobertura), observaram que a maior potência na barra de tração foi obtida na maior velocidade (5,87 km h⁻¹, marcha C1), indicando que, nessa velocidade, houve melhor aproveitamento da energia mecânica desenvolvida pelo motor. A potência obtida na velocidade de 4,89 km h⁻¹ (marcha B2) foi menor que a obtida na maior velocidade (5,87 km h⁻¹, marcha C1), enquanto nas velocidades de 3,78 km h⁻¹ (marcha B1) e 3,38 km h⁻¹ (marcha A3) foram obtidos os menores valores de potência. Contudo, o maior valor da potência obtido na maior velocidade (5,87 km h⁻¹, marcha C1) ocorreu a expensas de maiores consumos de combustível e, de forma semelhante à potência, o consumo de combustível diminuiu com a redução da velocidade de deslocamento, isto é, o uso da marcha de menor velocidade acarretou menor consumo de combustível.

A avaliação do desempenho operacional de campo de uma semeadora-adubadora de precisão, equipada com seis linhas espaçadas de 550 mm, em um solo muito argiloso na semeadura do feijão em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno realizada por Furlani et al. (2004), permitiu a estes autores observar que o manejo das coberturas de inverno não influenciou estatisticamente na exigência de potência na barra de tração. Porém, no preparo do solo com escarificador, essa variável foi

maior (17,19 kW), diferindo estatisticamente daquela do preparo convencional (16,48 kW), e a semeadura direta ficou em posição intermediária (16,83 kW), não diferindo dos outros dois tratamentos.

2.6.4. Consumo de combustível

Nos motores endotérmicos, é a partir da combustão da mistura ar e combustível que ocorre o desencadeamento dos processos de conversão de energia e desenvolvimento de potência. A combustão, que pode ser definida como uma reação química entre o oxigênio do ar e os hidrocarbonetos (carbono e hidrogênio) do combustível, é o fenômeno por meio do qual ocorre, nos motores, a liberação da energia interna do combustível. A mensuração da quantidade de ar e, principalmente, de combustível consumido na combustão constitui um dos parâmetros mais importantes na avaliação do rendimento do motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia (MIALHE, 1996).

Para esse autor, a quantidade de combustível consumida pelo motor pode ser expressa em relação ao tempo, quando recebe o nome de consumo horário de combustível e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido, quando é chamada de consumo específico de combustível.

Já Lopes et al. (2003) informaram que o consumo de combustível pode ser expresso como unidade de volume por unidade de tempo ($L\ h^{-1}$), caso em que não se considera a influência da variação da temperatura e da quantidade de potência gerada. Outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg\ h^{-1}$); esclareceram que nesta forma, apesar de considerar a influência da temperatura, não se contempla a potência gerada. Explicaram que a forma mais técnica de se expressar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$); esta forma é conhecida como consumo específico de combustível e, pelo fato de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes.

2.6.4.1. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível pode ser obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração e ser expresso em termos volumétrico (L h^{-1}) ou ponderal (kg h^{-1}). Para transformação de um dado para outro, basta conhecer a densidade do combustível (MIALHE, 1996).

Os efeitos da velocidade sobre o consumo de combustível têm sido investigados por diversos pesquisadores que atuam na área agrícola e, mais especificamente, na de mecanização. O trator e a semeadora-adubadora são largamente utilizados nessas pesquisas, e os resultados têm mostrado, com elevada frequência, ocorrências de aumentos no consumo horário de combustível causados por acréscimos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado (COELHO, 2011; SILVEIRA, 2008; CORTEZ et al., 2005).

Nesse contexto, Trintin et al. (2005), avaliando a demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto submetida a três velocidades de deslocamento ($4,2 \text{ km h}^{-1}$, $5,2 \text{ km h}^{-1}$ e $6,5 \text{ km h}^{-1}$), constataram que o consumo horário de combustível foi influenciado pelo aumento da velocidade de deslocamento. A maior velocidade ($6,5 \text{ km h}^{-1}$) foi a que apresentou o maior valor absoluto do consumo de combustível ($11,72 \text{ L h}^{-1}$), enquanto as velocidades de $4,2 \text{ km h}^{-1}$ e $5,2 \text{ km h}^{-1}$ obtiveram consumos menores, que não diferiram estatisticamente entre si. Contudo, destaca-se o fato de ter havido incremento de 35,9% no consumo horário de combustível, causado pela variação da velocidade de deslocamento de $4,2 \text{ km h}^{-1}$ para $6,5 \text{ km h}^{-1}$.

Ao avaliarem a demanda energética de uma semeadora-adubadora submetida a três velocidades de deslocamento sob diferentes condições de cobertura do solo na semeadura da cultura da soja, Bortolotto et al. (2006) observaram que a velocidade de deslocamento influenciou no consumo horário de combustível, que aumentou linearmente com a velocidade. Observaram, também, nessa avaliação que o tipo de cobertura do solo não interferiu no consumo de combustível.

Já Silveira et al. (2013), ao avaliarem a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em

função das velocidades de deslocamento e rotações do eixo do motor, na semeadura da cultura do milho, constataram incrementos no consumo horário de combustível quando da variação na velocidade de deslocamento e na rotação do eixo do motor. Observaram esses autores, nesse trabalho, que cada unidade acrescida na velocidade de deslocamento e na rotação no eixo do motor resultava em aumento de $1,32 \text{ L h}^{-1}$ e $0,0053 \text{ L h}^{-1}$, respectivamente, no consumo de combustível.

Outro tema muito investigado nesses trabalhos de pesquisa refere-se aos efeitos do mecanismo sulcador sobre o consumo de combustível. Vários autores, entre eles Santos et al. (2008), Mahl et al. (2007), Siqueira e Casão Júnior (2004) e Silva (2003), estudaram esse tema para diferentes tipos de mecanismos sulcadores e constataram que eles exercem influência sobre o consumo horário de combustível. Relataram que, entre os tipos de mecanismo sulcador avaliados, o facão é o que requer o maior consumo horário de combustível devido à sua maior profundidade de atuação e mobilização do solo.

Ao avaliarem três semeadoras para plantio direto de milho, Santos et al. (2008) concluíram que a utilização de sistema de abertura de sulcos para deposição de adubo do tipo haste sulcadora aumenta as exigências do consumo horário e específico de combustível em relação ao sistema de abertura de sulcos do tipo discos duplos defasados.

Já Mahl et al. (2007) constataram que, em solo arenoso, o mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado consumiu 11% menos de combustível por hectare semeado em relação à haste. Já em solo argiloso o uso de hastes aumentou em aproximadamente 2% o consumo horário de combustível e, no entanto, não diferiu quanto ao consumo de combustível por hectare em relação ao disco duplo desencontrado. Contudo, o trabalho realizado por Modolo et al. (2005) com o objetivo de avaliar a demanda energética de uma semeadora-adubadora de precisão variando o número de linhas de semeadura, montadas com mecanismos sulcadores do tipo haste sulcadora para adubo e discos duplos defasados para sementes, mostrou que o consumo horário de combustível não foi influenciado pelo número de linhas de semeadura montadas na máquina.

Destacam-se, entretanto, as recomendações feitas por Lopes et al. (2003) com base nos resultados obtidos durante a avaliação do consumo de combustível de um trator, no sentido de evitar a utilização da variável consumo horário de combustível como base de comparação entre tratamentos, pois ela evidencia o aumento de velocidade como fator negativo, sendo esta, na opinião desses autores, uma inverdade técnica. Esclareceram, no entanto, que o consumo horário com base em volume ($L\ h^{-1}$) pode ser usado para se ter uma ideia rápida de campo, já que ele não tem amparo científico, assim como também não o tem o consumo horário com base em massa, que considera apenas o efeito da temperatura com a finalidade de corrigir a densidade do líquido.

2.6.4.2. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível pode ser obtido pelo quociente entre o consumo horário e a potência desenvolvida, podendo ser expresso em $kg\ kW^{-1}\ h^{-1}$ (MIALHE, 1996). No entendimento de Lopes et al. (2003), esse parâmetro expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração.

Estudos realizados por Grotta (2008) com o objetivo de avaliar o desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função de duas culturas de cobertura crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrina* L.), manejadas de três formas distintas, sendo duas mecânicas (tritador de palhas e rolo faca) e uma química (herbicida via pulverizador) com a cultura do milho semeada a 5 cm de profundidade e deposição de adubo em três diferentes profundidades (11 cm, 14 cm e 17 cm), mostraram que para a variável consumo específico de combustível os fatores cultura, manejo e profundidade não apresentaram interação significativa entre si e que os fatores cultura e manejo não interferiram isoladamente no comportamento da variável. Mostraram, entretanto, que o fator profundidade, isoladamente, influenciou no consumo específico de combustível. O valor apresentado pela maior profundidade de deposição de adubo (17 cm) foi estatisticamente menor que os apresentados pelas demais

profundidades (11 cm e 14 cm), sendo estas últimas semelhantes estatisticamente.

Os resultados obtidos por Cortez et al. (2008), avaliando o desempenho de um trator agrícola operando sob dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional) em diferentes marchas e velocidades de deslocamento, indicaram que os sistemas de preparo do solo não influenciaram no consumo específico de combustível. No entanto, no que se referiu à escolha das marchas, indicaram que o aumento da velocidade proporcionou redução no consumo específico de combustível, fato que contribuiu para aumentar a eficiência da operação.

Os resultados da avaliação de demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, realizada por Silveira et al. (2013), indicaram, contudo, que cada aumento de uma unidade na velocidade de deslocamento resultou em decréscimo de $42,63 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no consumo específico de combustível, e cada aumento da mesma ordem na rotação do eixo do motor resultou em acréscimos no consumo específico de combustível na ordem de $0,28 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Indicaram também que o aumento na velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$ para $7,0 \text{ km h}^{-1}$, em uma mesma rotação, acarretou redução no consumo específico de combustível. Já aumento na rotação do eixo do motor em uma mesma velocidade de deslocamento causou aumento no consumo específico de combustível.

2.6.5. Volume de solo mobilizado

No campo, o volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora, em sistema de plantio direto, é variável e depende, principalmente, da área mobilizada e do comprimento da unidade experimental. A área mobilizada, por sua vez, varia em função da profundidade e da largura do sulco que, no entanto, depende do tipo de mecanismo sulcador montado na máquina e das condições físicas do solo.

Observações feitas por Conte (2011) revelaram que a quantidade de área superficial do solo, que é mobilizada em semeadura direta, é variável e dependente, sobretudo, de dois fatores: mecanismo sulcador

adotado e espaçamento entre linhas da cultura que está sendo semeada. Para esse autor, em espaçamentos menores que 0,5 m, como o que se tem usado nas culturas da soja e do milho, a mobilização de solo pode chegar a 50% da superfície. Destacou a importância de definir o que é superfície mobilizada para evitar confusão com solo jogado para fora do sulco. Explicou que, para se obter a largura exata do sulco, primeiro é necessário remover o solo exposto e o mobilizado, para em seguida medir, por meio de um perfilômetro de varetas, a seção transversal e a profundidade do sulco aberto pelo mecanismo sulcador.

Os mecanismos de abertura de sulco avaliados por Mion e Benez (2008) apresentaram valores diferentes para a área de solo mobilizado, e o tipo haste (facão) proporcionou maior área mobilizada em relação aos demais, fato que foi explicado pela maior profundidade de trabalho e largura da ponteira desse mecanismo sulcador. Esses autores destacaram que a carga vertical de 3.000 N contribuiu para mobilizar 30% a mais de solo em relação à carga vertical de 750 N, indicando que, quanto maior a carga vertical, maior é a área de solo mobilizada e, conseqüentemente, maior o volume de solo mobilizado.

Os resultados obtidos por Silva et al. (2001) indicaram que o aumento da velocidade de deslocamento não influenciou na área de solo mobilizado e permitiram concluir que o mecanismo sulcador tipo haste (facão), além de apresentar maior profundidade de deposição de sementes, apresentou uma área mobilizada 27,3% maior que a mobilizada pelo disco duplo.

Estudos realizados por Secco et al. (2003) com o objetivo de avaliar o efeito de três sistemas de implantação de forrageiras na sobressemeadura de campo natural evidenciaram que a semeadora equipada com mecanismo sulcador tipo cinzel proporcionou maior profundidade de semeadura e maior volume de solo mobilizado, em comparação com a equipada com disco duplo defasado. Já os realizados por Cepik et al. (2005) para avaliar o desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidade e profundidade de trabalho, indicaram que o maior volume de solo mobilizado pela haste ($135,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) foi obtido em solo friável (umidade

gravimétrica $0,14 \text{ kg kg}^{-1}$), na maior velocidade ($6,5 \text{ km h}^{-1}$) e maior profundidade de operação ($0,12 \text{ m}$). Em todos os ensaios, os resultados apontaram que os maiores valores de volume de solo mobilizados foram obtidos na maior profundidade de operação da haste sulcadora de adubo. Os valores de solos nos estados de consistências seco, friável e úmido foram de $110,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $128,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $125,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

Essa autora observou ainda que, nos estados de consistência seco e úmido, não houve diferença significativa em relação ao fator velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora. Mas, no friável, a velocidade teve influência significativa na variável volume de solo mobilizado a $0,12 \text{ m}$ de profundidade, pois foi constatado aumento de $11,6\%$ no valor da referida variável, quando a velocidade aumentou de $4,5 \text{ km h}^{-1}$ para $6,5 \text{ km h}^{-1}$.

Ao avaliar o desempenho de diferentes mecanismos de corte de palha de uma semeadora-adubadora de maneira individualizada em diferentes quantidades de cobertura vegetal adicionadas artificialmente em solo de textura argilosa, Santos (2009) constatou diferenças no volume de solo mobilizado quando a avaliação foi realizada nos tratamentos principais (quantidade de palhada) e secundários (configuração de discos). Constataram também que as maiores quantidades de palhadas proporcionaram maior taxa de cobertura do solo e, conseqüentemente, menor evaporação de água, aumentando a área de solo mobilizada, independentemente do disco utilizado. Para esse autor, esse maior volume de solo mobilizado com o aumento da palhada pode ser justificado pela maior umidade do solo, fato que permitiu maior penetração dos discos.

As relações solo-máquina em semeadura direta foram estudadas por Cepik (2006), que constatou a influência da quantidade de resíduos sobre o volume de solo mobilizado, pois os tratamentos com maiores doses de resíduos resultaram em maiores quantidades de solo mobilizado.

Já as avaliações realizadas por Coelho (1998) em diferentes configurações de mecanismos sulcadores empregados em semeadoras-adubadoras permitiram a constatação de que as configurações de sulcadores que apresentaram as menores áreas de sulco foram aquelas cujos elementos sulcadores e cortadores de palha eram compostos por

discos. As configurações que apresentaram facas sulcadoras para adubação foram os que mais revolveram o solo. A configuração composta por disco para corte de palha, disco duplo para adubo e disco duplo para sementes foi a que mobilizou o menor volume de solo na operação de sulcação.

2.6.6. Demanda energética

O conceito de energia está intimamente ligado ao de trabalho, e a primeira ideia que se faz da energia é a de trabalho armazenado, porém na definição de Mialhe (1974) energia é a “capacidade de produzir trabalho”. No entanto, para esse autor, nem sempre é possível obter trabalho a partir de uma forma qualquer de energia, razão pela qual recomenda que a energia seja considerada como aquilo que se reduz na proporção e à medida que o trabalho estiver sendo realizado. Explica que as unidades adotadas para expressar a energia devem ser as mesmas usadas para expressar o trabalho. No Sistema Internacional de Unidades, trabalho e energia são expressos em Joule (J) e seus múltiplos.

Estudos realizados por Mahl et al. (2004) com o objetivo de avaliar a demanda energética e a eficiência da distribuição de sementes de uma semeadora-adubadora para semeadura direta revelaram que, na operação de semeadura, a velocidade de deslocamento interferiu no desempenho do conjunto trator-semeadora-adubadora com relação à demanda energética e à capacidade de campo efetiva. Os citados autores constataram que o aumento da velocidade de 4,4 km h⁻¹ para 8,1 km h⁻¹ proporcionou aumento de 86% na capacidade operacional do conjunto, com incremento de 96% na demanda de potência na barra de tração e redução de 26% no consumo operacional de combustível.

Já os realizados por Furlani et al. (2004) com o propósito de avaliar o desempenho operacional de campo de uma semeadora-adubadora de precisão em um solo muito argiloso na semeadura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) mostraram que o consumo de energia na operação de semeadura foi cerca de 13% maior no solo preparado com escarificador, em relação ao plantio direto e ao preparo convencional, enquanto os manejos das coberturas de inverno não influenciaram nesse parâmetro.

Ao avaliarem a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo em diferentes sistemas de manejo do solo na operação de semeadura das culturas de nabo-forrageiro e nabiça, Piffer e Benez (2009) constataram que o emprego do preparo convencional e do cultivo mínimo resultou em um uso específico de energia por área estatisticamente maior que a semeadura direta. Contudo, Fernandes et al. (2008) avaliaram o custo energético das principais operações agrícolas mecanizadas na semeadura do milho, constatando que o plantio direto foi o sistema que proporcionou menor custo energético, seguido pelo sistema de cultivo mínimo com grade de disco leve, preparo reduzido com vibro escarificador e preparo convencional, respectivamente. Os custos energéticos apresentados pelo sistema de plantio direto representaram 52,72% dos proporcionados pelo sistema convencional.

Bortolotto et al. (2006) avaliaram a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora disponível comercialmente para plantio direto, submetida a quatro velocidades de deslocamento e três condições de cobertura do solo (vegetação espontânea, aveia dessecada e aveia dessecada e rolada) na implantação da cultura da soja. Observaram que os valores calculados de demanda de energia em função da área trabalhada refletiram a combinação dos resultados de potência e área trabalhada por unidade de tempo, e a condição com vegetação espontânea demandou maior uso de energia que as demais coberturas, enquanto a aveia rolada demandou o menor uso.

No entanto, Lacerda (2012), ao avaliar um sistema de semeadura direta para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), constatou aumento de 16,23% na energia requerida por área, quando a profundidade de adubação variou de 0,04 m para 0,16 m.

Fernandes et al. (2007) avaliaram o requerimento energético de um implemento conjugado de preparo do solo (renovadora de pastagens) modelo RP 2000 da Stara, em solo muito argiloso, em função da velocidade de deslocamento e da profundidade de trabalho. Verificaram que na menor velocidade de deslocamento (2 km h^{-1}) o aumento da energia requerida por área foi proporcional ao aumento da profundidade e que na maior velocidade (5 km h^{-1}) a interação não foi significativa. O maior requerimento energético

por área foi obtido na menor velocidade e na profundidade de 0,30 m. Verificaram, também, comportamento semelhante da variável energia por volume de solo mobilizado, quando constataram que na menor velocidade de deslocamento o aumento dessa variável (energia por volume de solo mobilizado) foi proporcional ao aumento da profundidade. No entanto, o menor requerimento de energia por volume de solo mobilizado foi obtido na maior velocidade (5 km h^{-1}) e na profundidade de 0,15 m. Já o maior valor da variável foi obtido na velocidade intermediária (3 km h^{-1}) e na profundidade de 0,20 m.

2.7. Força de tração segundo a norma ASAE D497.7MAR2011

O modelo matemático para predição da força requerida para tração de implementos agrícolas proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), por meio da norma técnica ASAE D497.7MAR2011, vem sendo atualizado e aperfeiçoado ao longo do tempo.

Na edição de 1990, a referida norma apresentava modelos, coeficientes e valores específicos para estimar a força requerida para cada tipo de implemento agrícola, dependendo da estrutura e do teor de umidade do solo. Naquela época, os modelos para estimar a força requerida para tração da semeadora, por linha de plantio, incluindo a resistência ao rolamento para solos argilosos, eram os seguintes:

- Somente semeadura $F_t = 450 \text{ a } 800 \text{ N linha}^{-1}$
- Semeadura e aplicações químicas $F_t = 1100 \text{ a } 2000 \text{ N linha}^{-1}$

Já na edição de 1999 o modelo proposto era representado por uma equação geral, única, e era utilizado para determinar a força requerida para tração de vários tipos de implementos agrícolas, individualmente, fossem eles de preparo do solo ou de cultivo.

Esse novo modelo, apresentado na equação 24, incluiu parâmetros relacionados à textura do solo, velocidade de deslocamento, largura da máquina ou número de elementos ativos e profundidade do sulco, além de outros parâmetros relacionados à máquina. Foi ratificado pela edição 2011 da norma ASAE D497.7MAR2011, e todos os parâmetros que

compõem a equação que o representa estão resumidos na Tabela 1 da referida norma, para a maioria das máquinas de preparo do solo e plantio. Cada parâmetro da máquina varia em função do *design* da ferramenta de mobilização e das características físicas do solo. O parâmetro A, constante, é uma função da resistência do solo, enquanto os coeficientes de velocidade, parâmetros B e C, estão relacionados à densidade do solo.

A referida norma classifica o solo como fino, médio e grosso. O solo classificado como de textura fina é aquele com elevado teor de argila (muito argiloso); o solo de textura média é o argiloso e o solo de textura grossa, o arenoso.

Os modelos são apresentados juntamente com um intervalo de variação, previsto para compensar eventuais diferenças no projeto, regulagens e idade da máquina, bem como das condições específicas do local como a umidade do solo e cobertura vegetal (residual ou não). Esse intervalo informa a variação esperada da força de tração média ou típica, uma vez que as condições da máquina e do solo, não incluídas no modelo, podem variar.

Entre as vantagens apresentadas pelo modelo atual, Santos (2010) destacou a facilidade de sua aplicação e a possibilidade de utilização de mais variáveis influentes sobre a demanda de força de tração, anteriormente desprezadas por modelos mais simplificados em nível de análise do sistema solo-máquina. Como ponto negativo, apontou os valores dos parâmetros contidos nas tabelas, obtidos em experimentos realizados em solos típicos norte-americanos, sendo esta, em sua opinião, a principal limitação encontrada pelos pesquisadores brasileiros que, na aplicação desse modelo de predição de força de tração, não têm a garantia de que a utilização de dados característicos de solos brasileiros manterá a mesma precisão obtida com a aplicação de dados oriundos de solos norte-americanos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

3.1.1. Caracterização

Este trabalho foi realizado em área experimental da Universidade Federal de Viçosa, localizada no Município de Viçosa, região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, com altitude média de 723 m e coordenadas geográficas de 20°46'42,2" de latitude sul e 42°51'52,9" de longitude oeste.

A região possui relevo predominantemente ondulado e montanhoso (85%). O solo predominante, segundo a classificação da Embrapa (2006), é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) com textura variando de argilosa a muito argilosa. O clima enquadra-se no tipo Cwa (mesotérmico úmido), da classificação de Köppen, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com temperatura média anual do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio inferior a 18 °C (FERNANDES et al., 2007). A temperatura anual média da região varia entre 14,0 °C e 26,1 °C, e a precipitação média anual é de 1.200 mm.

3.1.2. Preparação

A área experimental encontrava-se com vegetação espontânea composta por plantas daninhas anuais, principalmente capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), guaxuma (*Sida* spp.), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), caruru (*Amaranthus hybridus*) e picão-preto (*Bidens pilosa*), além de reduzida quantidade de restos culturais de milho. Essa vegetação foi suprimida com o auxílio de conjunto mecanizado composto por roçadora e trator agrícola, 10 dias antes da data de instalação do experimento, em uma única operação de corte. Os restos vegetais dessa atividade foram deixados espalhados naturalmente sobre o solo.

Na Figura 1 é mostrada a área experimental quando estava sendo preparada para a instalação do experimento e a Figura 2, os restos vegetais deixados sobre o solo da área experimental.

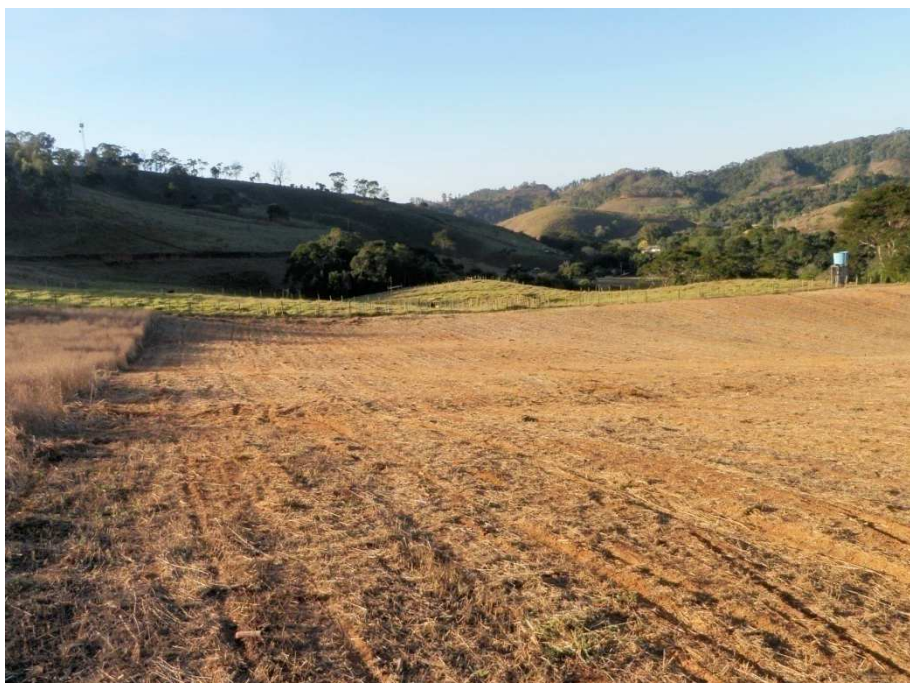


Figura 1 – Vista parcial da área experimental antes da instalação do experimento.



Figura 2 – Resíduos vegetais deixados sobre o solo da área experimental.

3.2. Caracterização física do solo da área experimental

3.2.1. Amostras de solo

Para caracterização física do solo da área experimental, coletaram-se 30 amostras de solo em locais selecionados aleatoriamente. Esses locais receberam limpeza prévia para remoção de galhos, pedras e vegetação rasteira eventualmente existente.

As amostras de solo foram coletadas anteriormente à realização dos ensaios com a semeadora-adubadora, em profundidade de 0,00 a 0,20 m, com o auxílio de um trado de aço galvanizado e depositadas em bandeja plástica. Essas amostras foram misturadas manualmente até se tornarem uma única e homogênea amostra, que foi adequadamente embalada em saco plástico e encaminhada ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, para determinação de sua granulometria e textura.

Na Figura 3 é mostrado o trado utilizado neste trabalho para coletar amostras deformadas de solo no momento em que uma amostra estava sendo depositada na bandeja plástica.



Figura 3 – Trado utilizado para coletar amostras deformadas de solo.

3.2.2. Densidade e teor de água do solo

A densidade e teor de água do solo foram determinados, respectivamente, pelos métodos do anel volumétrico e gravimétrico-padrão, com base na massa de solo seco em estufa até atingir massa constante, de acordo com EMBRAPA (1997), em duas faixas de profundidade de solo distintas. A primeira foi de 0,00 a 0,10 m e a segunda, de 0,10 a 0,20 m, em razão de ambas serem as faixas de profundidades trabalhadas pelos mecanismos sulcadores utilizados neste experimento.

As amostras foram coletadas em locais selecionados aleatoriamente na área experimental, no dia em que o experimento foi realizado, com o auxílio de um trado apropriado para retirar amostras de solo com estruturas indeformadas. O excesso de solo nas extremidades do anel

foi cuidadosamente removido com canivete, de forma que o material coletado ocupasse integralmente o volume total do cilindro. Foram descartadas as amostras de onde houve compactação e, ou, perda parcial de solo nas extremidades do cilindro.

Utilizou-se na amostragem um anel de aço inoxidável com diâmetro médio de 0,049 m e altura média de 0,053 m. Essas dimensões foram medidas com o auxílio de paquímetro digital da marca DIGIMESS com capacidade para realizar medições de até 0,20 m. Repetiram-se por três vezes as medições em cada dimensão do anel e, ao final, efetuaram-se as médias aritméticas dos resultados. A capacidade volumétrica do anel foi determinada por meio da equação 1.

$$V_a = \frac{\pi da^2}{4} \cdot ha \quad (1)$$

em que:

V_a = volume do anel (m^3);

π = constante (3,1416);

da = diâmetro do anel (m); e

ha = altura do anel (m).

As amostras de solo provenientes da área experimental foram depositadas em cápsulas de alumínio previamente pesadas e numeradas. Posteriormente, essas cápsulas contendo as amostras de solo úmido foram novamente pesadas para, em seguida, serem submetidas a um processo de secagem em estufa elétrica durante 48 h. A temperatura do processo foi ajustada para 105 °C, e a estufa utilizada, modelo MA035, fabricada pela Marconi, possuía capacidade para renovação e circulação de ar. Ao final desse processo, as amostras de solo seco foram retiradas da estufa e submetidas a novo procedimento de pesagem em balança eletrônica fabricada pela Shimadzu, modelo BL320H, com precisão de 0,01 g, que estava devidamente instalada, aferida e posicionada distante de fontes de calor, frio ou corrente de ar, para eliminar eventuais interferências desses agentes no procedimento de pesagem.

A densidade do solo (D_s), de acordo com Ruiz (2004), corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo o espaço poroso, que ocupa a totalidade do anel volumétrico. A densidade do solo das amostras foi calculada, utilizando-se a equação 2.

$$D_s = \frac{M_s}{V_a} \quad (2)$$

em que:

D_s = densidade do solo (kg m^{-3});

M_s = massa do solo seco (kg); e

V_a = volume do anel (m^3).

O teor de água do solo (U_s), segundo aquele autor, relaciona-se à massa de água contida no solo no momento da retirada da amostra com a massa de solo seco. Neste trabalho também foi determinado esse teor para cada uma das amostras por meio da equação 3.

$$U_s = \frac{M_a}{M_s} \quad (3)$$

em que:

U_s = teor de água do solo (kg kg^{-1});

M_a = massa de água no solo (kg); e

M_s = massa do solo seco (kg).

A densidade e teor de água do solo foram determinados por meio das médias aritméticas dos valores individuais obtidos em cada uma das amostras analisadas.

Na Figura 4 é mostrado o trado com o anel volumétrico na etapa final de um procedimento de coleta de amostra de solo, durante a realização deste trabalho.



Figura 4 – Trado utilizado para coletar amostras indeformadas de solo.

3.2.3. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi medida com base na norma técnica ASAE S313.3FEV1999(R2009): Soil cone penetrometer (ASABE, 2009), utilizando-se um penetrômetro georreferenciado da marca DLG, modelo PNT-2000, com capacidade de memória para até 768 ensaios e profundidade máxima de penetração de 600,00 mm (DLG, 2011).

Foram realizadas amostragens em 42 pontos selecionados aleatoriamente na área experimental, utilizando-se a ponta cônica tipo 2 com seção de 129,00 mm², em profundidades variando até 0,30 m. As medições da resistência do solo à penetração foram registradas a cada 0,01 m de profundidade, totalizando 31 registros de medições por amostragem, tendo sido desconsideradas as que não atingiram essa profundidade e, ou, esse número de medições.

Após a coleta, os dados foram processados e analisados com o auxílio de computador, gerando valores de esforços de penetração e índices de cone para cada ponto amostrado. Esse índice que reflete a resistência do solo à penetração foi determinado por meio da média aritmética dos valores individuais apresentados pelos pontos amostrados.

Na Figura 5 está ilustrado o penetrômetro utilizado para medir a resistência do solo à penetração. Essas medições foram realizadas anteriormente ao desenvolvimento do trabalho experimental com o conjunto mecanizado composto pelo trator agrícola e a semeadora-adubadora.



Figura 5 – Penetrômetro utilizado para medir a resistência do solo à penetração.

3.3. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Foram utilizadas cinco velocidades de deslocamento e duas configurações de montagem de linha de plantio, totalizando 10 tratamentos e 30 unidades experimentais. As diferentes velocidades de deslocamento foram obtidas por meio de mudanças de marchas e alterações nas rotações do eixo do motor. Já as variações na configuração de montagem da linha de plantio são decorrentes da utilização

de diferentes tipos de mecanismo sulcador no sistema de deposição de adubos da semeadora-adubadora.

Para a configuração A, que recebeu o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado, as velocidades de deslocamento utilizadas foram designadas: V1A, V2A, V3A, V4A e V5A.

Já na configuração B, que utilizou o mecanismo sulcador tipo facão, as velocidades utilizadas foram designadas: V1B, V2B, V3B, V4B e V5B.

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de regressão e os modelos, escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade, bem como no coeficiente de determinação (R^2). Para realizar a análise estatística, utilizou-se o programa computacional SAEG 9.1.

No Quadro 1 são apresentadas a identificação e descrição dos tratamentos utilizados no experimento, constituídos das cinco velocidades de deslocamento e das duas configurações de montagem da linha de plantio.

Quadro 1 – Identificação e descrição dos tratamentos estudados

Tratamento		Velocidade de deslocamento	Configuração da linha de plantio
Número	Identificação		
T1	V1CFA	V1A	A
T2	V1CFB	V1B	B
T3	V2CFA	V2A	A
T4	V2CFB	V2B	B
T5	V3CFA	V3A	A
T6	V3CFB	V3B	B
T7	V4CFA	V4A	A
T8	V4CFB	V4B	B
T9	V5CFA	V5A	A
T10	V5CFB	V5B	B

3.4. Demarcação das unidades experimentais

Utilizou-se neste trabalho uma área experimental de formato retangular, com 80,00 m de comprimento por 50,00 m de largura, totalizando 4.000,00 m² (0,40 ha) de área efetiva. Essa área foi dividida em três blocos de mesmo formato com área de 1.000,00 m² cada um, sendo 20,00 m de comprimento por 50,00 m de largura, separados entre si por faixas de terreno com área de 500,00 m² (10,00 m x 50,00 m) destinadas às manobras e à estabilização do conjunto mecanizado antes do início da aquisição dos dados. Os blocos foram divididos em 30 unidades experimentais com área de 100,00 m² (20,00 m x 5,00 m), sendo, individualmente, cada bloco composto por 10 unidades.

Para realizar o levantamento planimétrico da área e demarcar as unidades experimentais, utilizou-se a estação total marca TOPCON, modelo GTS 226. O processamento dos dados foi efetuado por meio do programa computacional DATA Geosis VIAS, Topograph e Auto CAD 2011. Os vértices das unidades foram demarcados com estacas de madeira de 0,60 m de comprimento.

O conjunto mecanizado deslocou-se no sentido do comprimento das unidades experimentais com as variáveis, velocidade de deslocamento e configuração de montagem de linha de plantio, selecionadas aleatoriamente. Os ensaios foram repetidos por três vezes, em unidades experimentais distintas.

A velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado variou de acordo com a marcha, a rotação do eixo do motor e a configuração de montagem da linha de plantio que, por sua vez, variou de acordo com o tipo de mecanismo sulcador montado no sistema de deposição de adubo. Neste trabalho experimental foram utilizados dois tipos de mecanismos sulcadores: disco duplo defasado e facão.

Na Figura 6 é apresentado o arranjo físico da área experimental, mostrando a disposição dos blocos e a combinação das variáveis ensaiadas em cada unidade experimental. A letra V significa velocidade de deslocamento, e as letras CF significam configuração de montagem da linha de plantio. As cotas foram apresentadas em metro, que é a unidade de comprimento adotada pelo Sistema Internacional de Unidades.

Área experimental

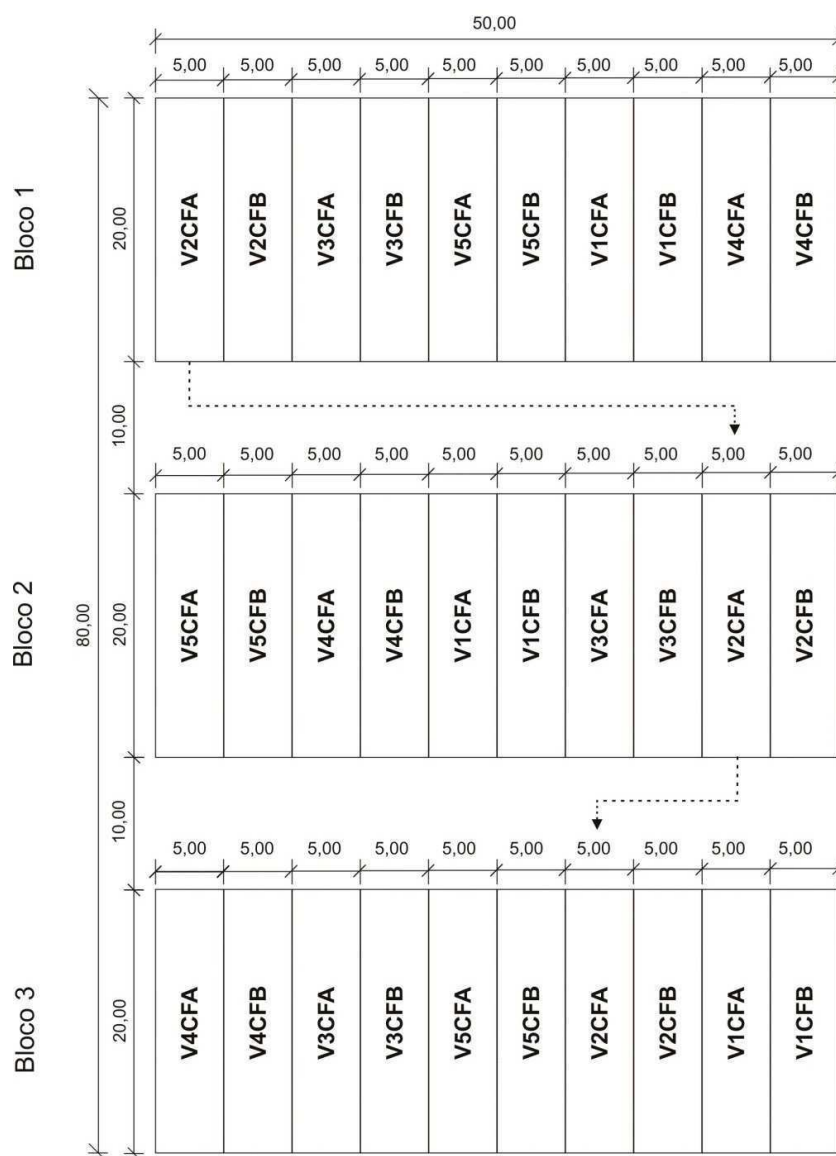


Figura 6 – Arranjo físico da área experimental com distribuição dos blocos, unidades experimentais e variáveis ensaiadas.

3.5. Máquinas e implementos agrícolas

A semeadora-adubadora utilizada neste trabalho experimental era da marca Seed-Max, Modelo PC 2123, com chassi de 1,73 m de largura; capacidade para montagem de até três linhas de plantio; dosador de sementes tipo disco horizontal perfurado; e dosador de adubo do tipo rosca helicoidal, ambos acionados por sistemas independentes montados nas

laterais da máquina, com a finalidade de transmitir os movimentos das rodas motrizes para os referidos dosadores. O acionamento do sistema de deposição de semente era feito pela roda do lado direito e o do sistema de deposição de adubo, pela roda do lado esquerdo, por meio de conjuntos de engrenagens e correntes. Era do tipo empregado em plantio direto e encontrava-se em perfeito estado de conservação e funcionamento.

Para a realização dos ensaios, a semeadora-adubadora foi montada com apenas uma linha de plantio posicionada no centro do chassi, conforme apresentado na Figura 7. Os reservatórios foram abastecidos com adubo e sementes de feijão até completar 50% de suas capacidades volumétricas. Os mecanismos dosadores de adubo e sementes funcionaram normalmente durante o ensaio, porém em vazio, porque foram previamente protegidos para impedir o contacto de seus componentes com esses insumos, uma vez que a deposição deles no solo não fazia parte do escopo deste trabalho.



Figura 7 – Semeadora-adubadora.

Foram avaliadas duas configurações de montagem da linha de plantio. A primeira foi denominada versão “A” e era composta pelos seguintes mecanismos: disco de corte, disco duplo defasado no sistema de deposição de adubo, disco duplo defasado no sistema de deposição de sementes e rodas de cobertura e controle de profundidade. A segunda foi denominada versão “B”. Nela, o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado utilizado no sistema de deposição de adubo foi substituído por outro do tipo facão com ponteira removível e regulação individual de profundidade e de ângulo de ataque. Nas Figuras 8 e 9 são ilustradas, respectivamente, as versões de montagem “A” e “B” da linha de plantio. Observa-se nessas figuras que as fotografias foram registradas de ângulos diferentes. Na Figura 8, a fotografia foi registrada na lateral direita da semeadora-adubadora, sentido parte posterior-anterior, mostrando as rodas de cobertura e controle de profundidade à frente, seguida dos mecanismos sulcadores tipo disco duplo defasado dos sistemas de deposição de sementes e de adubo, respectivamente, e, ao fundo, o disco de corte.

Na Figura 9, a fotografia foi registrada na lateral esquerda da semeadora-adubadora, sentido parte anterior-posterior, mostrando o disco de corte à frente, seguido do mecanismo sulcador tipo facão montado no sistema de deposição de adubo. Ao fundo, mostram-se o disco duplo defasado montado no sistema de deposição de sementes e as rodas de cobertura e controle de profundidade.

O mecanismo denominado *disco de corte* utilizado nas duas configurações de linha de plantio era do tipo liso e possuía 0,4064 m (16 polegadas) de diâmetro. Os mecanismos sulcadores denominados *discos duplos defasados*, que foram utilizados tanto para deposição de adubo quanto para deposição de sementes, eram formados por dois discos de corte com diâmetros diferentes, sendo o menor de 0,3302 m (13 polegadas) e o maior de 0,3556 m (14 polegadas) (SEED-MAX, 2011). Nas figuras apresentadas a seguir são mostrados os mecanismos sulcadores utilizados neste trabalho experimental, em que a Figura 10 apresenta o disco de corte, a Figura 11 o disco duplo defasado e a Figura 12 o facão que foi utilizado no sistema de deposição de adubo da versão B de montagem da linha de plantio.



Figura 8 – Configuração “A” de montagem da linha de plantio (disco duplo defasado).



Figura 9 – Configuração “B” de montagem da linha de plantio (facão).



Figura 10 – Disco de corte utilizado nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).



Figura 11 – Mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado.



Figura 12 – Mecanismo sulcador tipo facão.

Os mecanismos sulcadores utilizados no sistema de deposição de adubo, tipo disco duplo defasado e facão, foram montados no mesmo suporte, cada qual a seu tempo e na sua vez de ser ensaiado, utilizando-se os mesmos orifícios de fixação para que fossem mantidos em posição perpendicular ao solo e ajustados para obter a máxima profundidade de penetração. A pressão da mola de regulação de profundidade de penetração do disco de corte não foi alterada.

Os braços das rodas motrizes da semeadora-adubadora foram ajustados para a posição 4, de modo a se obterem, no que a regulação desse mecanismo permitia, profundidades de penetração próximas das máximas, tanto para o disco de corte quanto para os sulcadores tipo disco duplo defasado e facão, que foram utilizados nos sistemas de deposição de adubo e de sementes. As profundidades de penetração máximas são obtidas com a regulação na posição 5.

A profundidade do disco duplo defasado para deposição de sementes foi ajustada em posição intermediária, no 4º orifício da barra perfurada. O ângulo entre as rodas de cobertura e controle de profundidade

foi ajustado para a posição totalmente aberto, porque é o que proporciona a maior cobertura das linhas de plantio com terra. A pressão da mola de regulagem de profundidade de penetração dos discos duplos defasados para deposição de sementes não foi alterada.

A semeadora-adubadora foi integralmente acoplada ao sistema de levante hidráulico de um trator agrícola fabricado pela John Deere, modelo 5705, 4 X 2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência nominal no motor de 62 kW (85 cv) a 2.400 rpm, torque máximo de 330 mN a 1.600 rpm e massa de 2.790 kg sem lastro. O trator estava montado com quatro pesos frontais de 50 kg, rodados simples, pneus dianteiros 12.4-24R1 e traseiros 18.4-30R1.

Os sistemas de acoplamento da semeadora-adubadora e do trator eram da categoria II, e a montagem foi realizada com o tensor central ou terceiro ponto montado nos furos mais elevados das estruturas de fixação do trator e da máquina. Antes de dar início aos ensaios, procedeu-se ao nivelamento da semeadora-adubadora, no sentido longitudinal e transversal em relação à linha central de deslocamento do conjunto mecanizado.

Foi utilizado um segundo trator agrícola para formar um comboio e possibilitar a aquisição de dados do consumo de combustível e da força requerida para tração da semeadora-adubadora. Esse trator, fabricado pela Massey Ferguson do Brasil S.A., modelo MF 265, versão 4 X 2, com tração dianteira auxiliar (TDA), possuía 2.590 kg de massa sem lastro e 3.743 kg com lastro máximo. A potência nominal no motor era de 47,8 kW (65 cv) a 2.200 rpm e o torque máximo, de 225,4 mN (23 mkgf) a 1.300 rpm. A distância entre eixos era de 2,14 m e utilizava rodado simples com pneus radiais, sendo os dianteiros 12.4-24R1 e os traseiros 18.4-30R1. Os instrumentos para aquisição de dados sobre o consumo de combustível e sobre a força requerida para tração da semeadora-adubadora foram instalados neste trator.

No esquema apresentado na Figura 13, o trator 1 representa o trator fabricado pela Massey Ferguson, que foi utilizado como fonte de potência para tracionar o conjunto mecanizado. O trator 2 representa o fabricado pela John Deere.

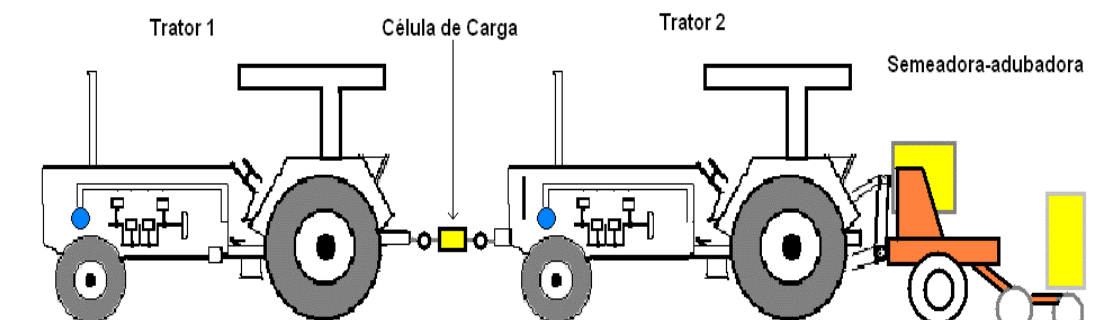


Figura 13 – Esquema do comboio utilizado para medir a força requerida para tração da semeadora-adubadora.

Durante os ensaios, a caixa de câmbio do trator fabricado pela John Deere (trator 2) foi mantida em neutro e os mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora, em operação.

A força requerida para tração da semeadora-adubadora foi medida por meio de um dinamômetro instalado entre os dois tratores. A célula de carga foi montada em suporte metálico desenvolvido por técnicos do Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para protegê-la de impactos e mantê-la devidamente posicionada no comboio, garantindo precisão nas leituras obtidas. Por sua vez, esse suporte foi instalado na barra de tração do trator Massey Ferguson, que estava devidamente fixada para não oscilar durante os ensaios. A outra extremidade da célula de carga foi fixada ao pino da base de contrapesos dianteiros do trator John Deere, por meio de uma corrente que foi utilizada especificamente para tracionar o conjunto mecanizado.

Na Figura 14 é mostrada a célula de carga montada no suporte metálico desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola e na Figura 15, apresentado o medidor de fluxo volumétrico de combustível utilizado neste trabalho.

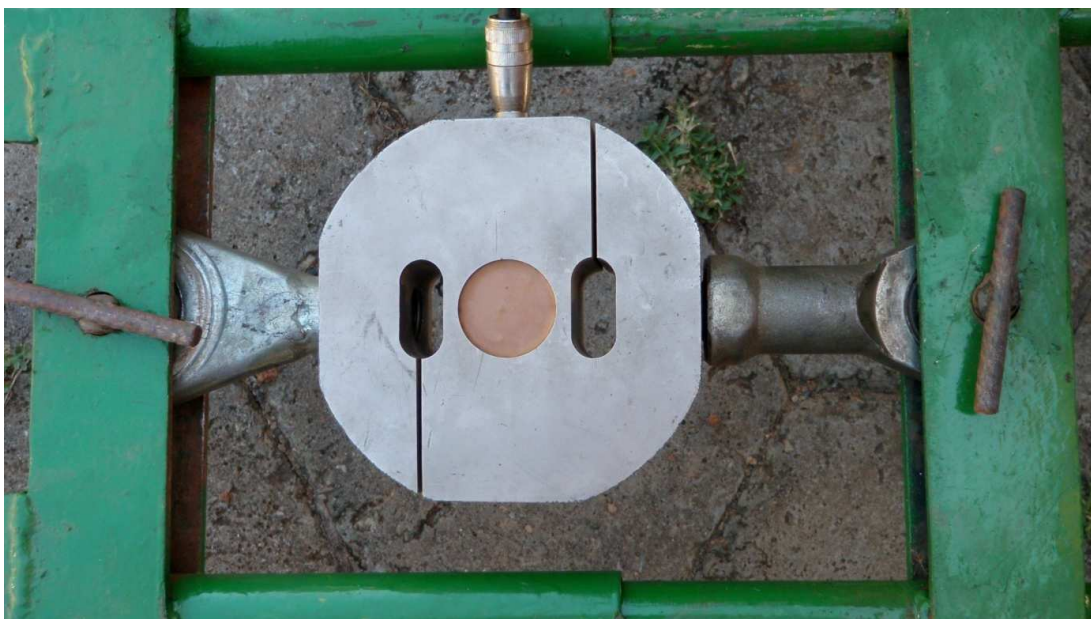


Figura 14 – Célula de carga.

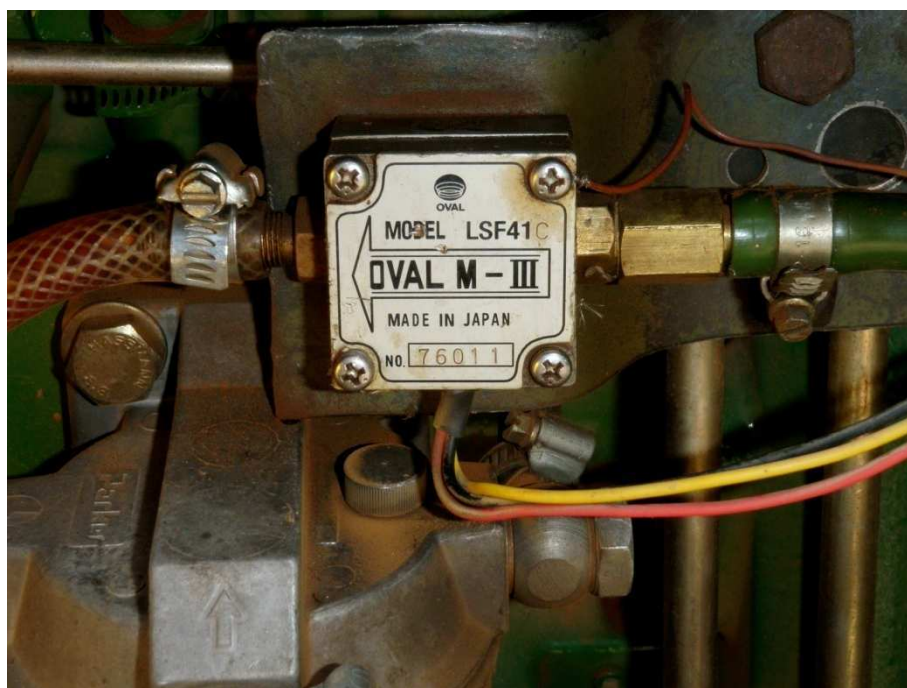


Figura 15 – Medidor de fluxo volumétrico de combustível.

As duas configurações de montagem da linha de plantio da semeadora-adubadora “A” e “B” foram ensaiadas nas mesmas condições operacionais, ou seja, com as mesmas marchas e rotações do eixo do motor.

3.6. Desempenho operacional do conjunto mecanizado

O desempenho do conjunto mecanizado foi avaliado por meio de análise do comportamento de variáveis inerentes às máquinas, implementos agrícolas e seus elementos ativos. Entre essas variáveis, citam-se: velocidade de deslocamento, força e potência requeridas para tração da semeadora-adubadora, consumo horário e específico de combustível e demanda energética. Outras variáveis inerentes ao solo, à topografia do terreno e ao tipo de operação agrícola, consideradas importantes para a avaliação, também foram consideradas e analisadas neste trabalho.

3.6.1. Velocidade de deslocamento

O conjunto mecanizado foi avaliado em cinco diferentes velocidades de deslocamento. Essas velocidades, denominadas V1, V2, V3, V4 e V5, foram obtidas pela variação da marcha, rotação do eixo do motor e mecanismo sulcador utilizado na montagem da linha de plantio.

Nos ensaios, a configuração de montagem da linha de plantio variou segundo o tipo de mecanismo sulcador utilizado no sistema de deposição de adubo. Independentemente da configuração ensaiada, a combinação de marcha e rotação do eixo do motor utilizada para obter dada velocidade foi mantida inalterada para todas as configurações e condições de ensaios, de acordo com a pré-seleção.

As marchas e rotações do eixo do motor utilizadas no experimento foram previamente selecionadas com base no mapa de escalonamento de marchas e na tabela de velocidades do trator, fornecidos pelo fabricante. Posteriormente, realizaram-se testes no pátio do Laboratório de Mecanização Agrícola sobre piso pavimentado, com o conjunto mecanizado em posição de transporte, utilizando as marchas e rotações

selecionadas, com o objetivo de certificar se as velocidades de deslocamento obtidas nessas condições se aproximavam das apresentadas pelo fabricante do trator e se encontravam na faixa recomendada para operações de semeadura e adubação em sistema de plantio direto. Após a certificação, o conjunto mecanizado foi avaliado no campo com os órgãos ativos da semeadora-adubadora em operação.

Na Tabela 1 são apresentadas as denominações das velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado para as cinco combinações de marcha e rotação do eixo do motor.

Tabela 1 – Velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado em função da marcha e da rotação do eixo do motor

Velocidade de deslocamento (km h⁻¹)	Marcha	Rotação do eixo do motor	
		(rpm)	(rad s⁻¹)
V1	2RA	1800	188,5
V2	3RB	1600	167,6
V3	3RA	1600	167,6
V4	3RA	1800	188,5
V5	1SB	1700	178,0

A velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado para cada combinação de marcha e rotação do eixo do motor foi determinada por meio da equação 4.

$$Vi = \frac{L}{t} \cdot 3,6 \quad (4)$$

em que:

Vi = velocidade de deslocamento (km h⁻¹);

L = comprimento da unidade experimental (m);

t = tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer a unidade experimental (s); e

3,6 = constante utilizada para transformação de unidades.

O tempo consumido para percorrer toda a extensão das unidades experimentais que tinham 20 m de comprimento foi medido com o auxílio de um cronômetro.

Os ensaios foram repetidos em três unidades experimentais distintas, utilizando-se a mesma combinação de marcha, rotação do eixo do motor e configuração de montagem de linha de plantio. A média aritmética das velocidades de deslocamento obtidas nessas repetições foi determinada por meio da equação 5 e denominada velocidade média de deslocamento.

$$V_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (5)$$

em que:

V_M = velocidade média de deslocamento (km h^{-1});

V_i = velocidade de deslocamento (km h^{-1}); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

3.6.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora

Para determinar a força requerida para tração da semeadora-adubadora, utilizaram-se as máquinas e implementos agrícolas descritos no item 3.5., estando esses montados em comboio, na forma apresentada esquematicamente na Figura 13.

Os ensaios para determinar essa variável foram realizados em duas etapas. Na primeira, foram medidas as forças requeridas para tração do conjunto mecanizado que era composto pelo trator 2, fabricado pela John Deere e pela semeadora-adubadora. Nessa etapa, o conjunto mecanizado foi avaliado nas cinco velocidades de deslocamento, nas duas configurações de montagem da linha de plantio e com os mecanismos sulcadores executando operações de mobilização do solo. Na segunda etapa foram medidas as forças de resistência ao deslocamento oferecidas pelo trator 2, sem estar com a semeadora-adubadora acoplada nas cinco velocidades de deslocamento.

Para medir as forças requeridas para tração do conjunto mecanizado e de resistência ao deslocamento oferecida pelo trator 2, instalou-se entre os tratores um dinamômetro com célula de carga marca

KRATOS, modelo IK-14A, com capacidade para medir força de tração com intensidade de até 50 kN. Esse dinamômetro mediu e informou, por meio de um visor, valores de força de tração instantânea expressos em quilograma-força (kgf). Em todas as unidades experimentais foram feitas e registradas três leituras de cada uma dessas forças instantâneas, tomadas em pontos distintos, selecionados aleatoriamente ao longo da trajetória percorrida pelo comboio. Em virtude de a unidade de medida de força oferecida pelo dinamômetro ser componente do Sistema Técnico de Unidades, fez-se a sua transformação para Newton (N), que é a unidade adotada pelo Sistema Internacional de Unidades e, em seguida, para quilonewton (kN). Posteriormente, efetuou-se a média aritmética dos valores obtidos experimentalmente, utilizando as equações 6 e 7.

$$F_{TC} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{i=1}^n F_{IC} \cdot 0,00981 \quad (6)$$

em que:

F_{TC} = força requerida para tração do conjunto mecanizado (kN);

F_{IC} = força de tração instantânea registrada na célula de carga (kgf);

n_0 = número de leituras registradas (adimensional); e

0,00981 = constante utilizada para transformação das unidades.

$$F_{TT} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{i=1}^n F_{IT} \cdot 0,00981 \quad (7)$$

em que:

F_{TT} = força de resistência ao deslocamento oferecida pelo trator 2 (kN);

F_{IT} = força de tração instantânea registrada na célula de carga (kgf);

n_0 = número de leituras registradas (adimensional); e

0,00981 = constante utilizada para transformação das unidades.

A força requerida para tração da semeadora-adubadora foi determinada empiricamente pela diferença entre a força requerida para tração do conjunto mecanizado e a força de resistência ao deslocamento oferecida pelo trator 2, por meio da equação 8.

$$F_{TS} = F_{TC} - F_{TT} \quad (8)$$

em que:

F_{TS} = força requerida para tração da semeadora-adubadora (kN);

F_{TC} = força requerida para tração do conjunto mecanizado (kN); e

F_{TT} = força de resistência ao deslocamento oferecida pelo trator 2 (kN).

Calculou-se, ainda, a média aritmética das forças requeridas para tração da semeadora-adubadora, com base nos valores obtidos nas três repetições realizadas no experimento, para todas as configurações de montagem da linha de plantio e velocidade de deslocamento, sendo aplicada a equação 9.

$$F_{SM} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n F_{TS} \quad (9)$$

em que:

F_{SM} = força média requerida para tração da semeadora-adubadora (kN);

F_{TS} = força requerida para tração da semeadora-adubadora (kN); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

3.6.3. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora

A potência requerida para tracionar a semeadora-adubadora foi determinada para cada configuração de montagem da linha de plantio por meio da equação 10, com base nas médias obtidas experimentalmente para a força de tração e velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

$$P_{SM} = \frac{F_{SM} \cdot V_M}{3,6} \quad (10)$$

em que:

P_{SM} = potência requerida para tração da semeadora-adubadora (kW);

F_{SM} = força média requerida para tração da semeadora-adubadora (kN);

V_M = velocidade média de deslocamento (km h⁻¹); e

3,6 = constante utilizada para transformação de unidades.

3.6.4. Consumo de combustível

O volume de combustível consumido pelo trator na operação com a semeadora-adubadora foi determinado, neste trabalho, para cada unidade experimental de duas maneiras distintas: em relação ao tempo, ou seja, consumo horário de combustível e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido; neste caso, consumo específico de combustível.

Para mensurar esse consumo de combustível, utilizou-se um medidor de fluxo volumétrico de deslocamento positivo com engrenagens elípticas fabricado pela Oval Corporation do Japão, tipo M-III, modelo LSF41C, número de série 76011, que foi instalado na saída do reservatório de combustível do trator. Sua instalação nesse local assegurou a passagem do combustível por seu interior antes de percorrer a tubulação de combustível do trator, originando, assim, número de pulsos proporcional a cada centímetro cúbico de combustível consumido. O retorno de combustível do sistema de injeção foi acoplado entre o sensor e a bomba de transferência, de modo a não interferir no resultado.

Em cada unidade experimental foram realizadas duas leituras do número de pulsos, sendo a primeira na extremidade inicial e, a segunda, na extremidade final da unidade, ambas com o conjunto mecanizado em movimento. Essas leituras foram realizadas por meio de um visor, que foi acoplado ao medidor, sendo o número de pulsos obtido por subtração. Na Figura 15, apresentada anteriormente, é mostrado o medidor de fluxo volumétrico de combustível utilizado neste trabalho experimental.

3.6.4.1. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível expresso em termos volumétricos foi obtido por meio da equação 11, que relacionou o número de pulsos registrados pelo medidor volumétrico de combustível com o tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer toda a extensão da unidade experimental.

$$C_{hv} = \frac{N_p \cdot 1 \text{ cm}^3}{t} \cdot 3,6 \quad (11)$$

em que:

C_{hv} = consumo horário de combustível, volumétrico (L h^{-1});

N_p = número de pulsos registrados em uma unidade experimental (adimensional);

1cm^3 = volume de combustível equivalente a um pulso;

t = tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer a unidade experimental (s); e

3,6 = constante utilizada para transformação de unidades.

O número de pulsos medidos durante o percurso do conjunto mecanizado em uma unidade experimental foi determinado por subtração, de acordo com a equação 12.

$$N_p = N_{pf} - N_{pi} \quad (12)$$

em que:

N_p = número de pulsos registrados em uma unidade experimental (adimensional);

N_{pf} = número de pulsos registrados na extremidade final da unidade experimental (adimensional); e

N_{pi} = número de pulsos registrados na extremidade inicial da unidade experimental (adimensional).

O consumo horário foi determinado também em termos ponderais, a partir da mensuração volumétrica e da densidade do combustível, por meio da equação 13.

$$C_{hp} = \frac{N_p \cdot 1 \text{ cm}^3}{t} \cdot 3,6 \cdot d \quad (13)$$

em que:

C_{hp} = consumo horário de combustível, ponderal (kg h^{-1});

N_p = número de pulsos registrados em uma unidade experimental (adimensional);

1cm^3 = volume de combustível equivalente a um pulso;

t = tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer a unidade experimental (s);

3,6 = constante utilizada para transformação de unidades; e

d = densidade do combustível (g cm^{-3}).

O consumo horário médio de combustível foi calculado em termos volumétricos e ponderais, para cada configuração de montagem da linha de plantio nas cinco velocidades de deslocamento, por meio das equações 14 e 15.

$$C_{hvm} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n C_{hv} \quad (14)$$

em que:

C_{hVM} = consumo horário médio de combustível, volumétrico ($L h^{-1}$);

C_{hv} = consumo horário de combustível ($L h^{-1}$); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

$$C_{hpM} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n C_{hp} \quad (15)$$

em que:

C_{hpM} = consumo horário médio de combustível, ponderal ($kg h^{-1}$);

C_{hp} = consumo horário de combustível ($kg h^{-1}$); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

3.6.4.2. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível corresponde à massa de combustível consumida pelo conjunto mecanizado, por unidade de potência requerida para tracionar a semeadora-adubadora, durante 1 h de trabalho. Foi determinado por meio da equação 16, nas diferentes configurações de montagem da linha de plantio operando nas cinco velocidades de deslocamento.

$$C_{ep} = \frac{C_{hpM}}{P_{SM}} \quad (16)$$

em que:

C_{ep} = consumo específico de combustível ($kg kW^{-1} h^{-1}$);

C_{hpM} = consumo horário médio de combustível, ponderal ($kg h^{-1}$); e

P_{SM} = potência requerida para tração da semeadora-adubadora (kW).

3.6.5. Perfil de solo mobilizado

O perfil de solo mobilizado foi caracterizado para cada tipo de mecanismo sulcador montado no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora. Foram utilizados um perfilógrafo e uma câmera fotográfica para visualizar e registrar o perfil transversal do solo tomado em direção perpendicular à de deslocamento do conjunto mecanizado.

O perfilógrafo utilizado no experimento, conforme mostrado na Figura 16, possuía largura útil de 0,95 m, com pontos tomados de 0,05 m a 0,05 m, perfazendo um total de 20 pontos por leitura. Para facilitar a visualização e o registro do perfil de solo examinado, afixou-se no perfilógrafo uma folha de papel em formato A3 com divisões milimétricas. Esse procedimento de colagem do papel quadriculado no perfilógrafo facilitou e garantiu maior segurança na operação de registro de dados no campo de trabalho, feitos por meio de registros fotográficos, uma vez que esse tipo de registro é indelével e de fácil visualização e interpretação.

Na montagem do perfilógrafo na área experimental, cuidou-se para que ele estivesse nivelado horizontalmente. Esse nivelamento foi importante para eliminar eventuais erros de leitura e interpretação do perfil do solo. O ajuste do nivelamento foi feito por meio de mecanismos instalados nas estruturas de sustentação do perfilógrafo e conferido com o auxílio de instrumento apropriado denominado “nível de bolha”, o qual foi utilizado sobre a estrutura de sustentação dos elementos de medição.

Os perfis de solo obtidos na área experimental foram registrados por meio de câmera fotográfica digital marca Sony, modelo DLSR-A230, com resolução de 10.2 mega pixels. Os registros fotográficos foram aproximados visualmente no computador, por meio de “zoom” digital, recurso que permitiu a leitura do valor indicado por cada um dos elementos de medição do perfilógrafo, no papel quadriculado.

Para caracterizar a camada de solo mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora, registraram-se os seguintes perfis recomendados por Gamero e Lanças (1996):

- a) **Perfil da superfície natural do solo:** obtido com o perfilógrafo colocado transversalmente à linha de mobilização do solo, no ponto médio da parcela, antes da realização da operação.
- b) **Perfil interno do solo mobilizado:** o perfilógrafo foi recolocado no mesmo local anterior, após a realização da operação e da retirada de todo o solo mobilizado durante essa atividade. Ao final da retirada do solo, obteve-se uma trincheira transversal à linha de operação.

As áreas dos diferentes perfis foram calculadas por planilhas eletrônicas desenvolvidas no Laboratório de Mecanização Agrícola do

Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, com base no sistema Microsoft Office, programa Excel, versão 2007.

De posse das áreas desses perfis, calcularam-se as áreas de solo mobilizado para as unidades experimentais. Para determinar a área de solo mobilizado pela semeadora-adubadora, utilizou-se a equação 17.

$$A_M = A_N - A_I \quad (17)$$

em que:

A_M = área de solo mobilizado pela semeadora-adubadora (m^2);

A_N = área correspondente ao perfil da superfície natural do solo (m^2); e

A_I = área correspondente ao perfil da superfície interna do solo mobilizado (m^2).

A Figura 16 mostra o perfilógrafo utilizado na área experimental para medir o perfil da superfície natural do solo e, posteriormente, o perfil interno do solo mobilizado.



Figura 16 – Perfilógrafo.

3.6.6. Volume de solo mobilizado

O volume de solo mobilizado foi determinado com base na área de solo mobilizado e no comprimento da unidade experimental. Matematicamente, foi determinado por meio da equação 18.

$$V_{SM} = A_M \cdot L \quad (18)$$

em que:

V_{SM} = volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora (m^3);

A_M = área de solo mobilizado pela semeadora-adubadora (m^2); e

L = comprimento da unidade experimental (m).

O volume médio de solo mobilizado foi calculado para cada configuração de montagem da linha de plantio nas cinco velocidades de deslocamento, por meio da equação 19.

$$V_{MM} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_{SM} \quad (19)$$

em que:

V_{MM} = volume médio de solo mobilizado (m^3);

V_{SM} = volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora (m^3); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

3.6.7. Volume específico de solo mobilizado

O volume específico de solo mobilizado é a relação entre o volume de solo mobilizado pelo mecanismo sulcador e o tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer toda a extensão da unidade experimental. Neste trabalho, essa variável foi determinada por meio da equação 20.

$$V_{Me} = \frac{V_{SM}}{t} \quad (20)$$

em que:

V_{Me} = volume específico de solo mobilizado ($m^3 s^{-1}$);

V_{SM} = volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora (m^3); e

t = tempo consumido pelo conjunto mecanizado para percorrer a unidade experimental (s).

Para cada configuração de montagem da linha de plantio e velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, foi calculado o volume específico médio de solo mobilizado, por meio da equação 21.

$$V_{EM} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_{Me} \quad (21)$$

em que:

V_{EM} = volume específico médio de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

V_{Me} = volume específico de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); e

n = número de repetições realizadas no experimento (adimensional).

3.6.8. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado

Para determinar o consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, foi utilizada a equação 22.

$$C_{eVSM} = \frac{C_{ep}}{V_{MM}} \quad (22)$$

em que:

C_{eVSM} = consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1} \text{m}^{-3}$);

C_{ep} = consumo específico de combustível, ponderal ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1}$); e

V_{MM} = volume médio de solo mobilizado (m^3).

3.6.9. Energia requerida por volume de solo mobilizado

A energia requerida pela semeadora-adubadora, por linha de plantio, para mobilização do solo foi calculada por meio da equação 23.

$$E_{VM} = \frac{P_{SM}}{V_{EM}} \quad (23)$$

em que:

E_{VM} = energia requerida por volume de solo mobilizado (kJ m^{-3});

P_{SM} = potência requerida para tração da semeadora-adubadora (kW); e

V_{EM} = volume específico médio de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

3.7. Avaliação de modelo matemático proposto pela ASABE para predição de força requerida para tração de semeadora-adubadora

Neste trabalho foi avaliado o modelo matemático proposto pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), por meio da norma técnica intitulada ASAE D497.7MAR2011: Agricultural Machinery Management Data (ASABE, 2011b), para predição de força requerida para tração de semeadora-adubadora. Esse modelo foi avaliado por meio de comparação dos resultados simulados, obtidos na aplicação do modelo com outros obtidos experimentalmente. Os valores de parâmetros operacionais referentes ao solo, máquinas e implementos agrícolas contidos na referida norma técnica também foram comparados com os obtidos experimentalmente.

3.7.1. Diagrama de forças atuantes no trator

Na Figura 17 é apresentado, de forma simplificada, o diagrama de forças atuantes em um trator agrícola versão 4x2 trafegando no plano e se deslocando com velocidade constante.

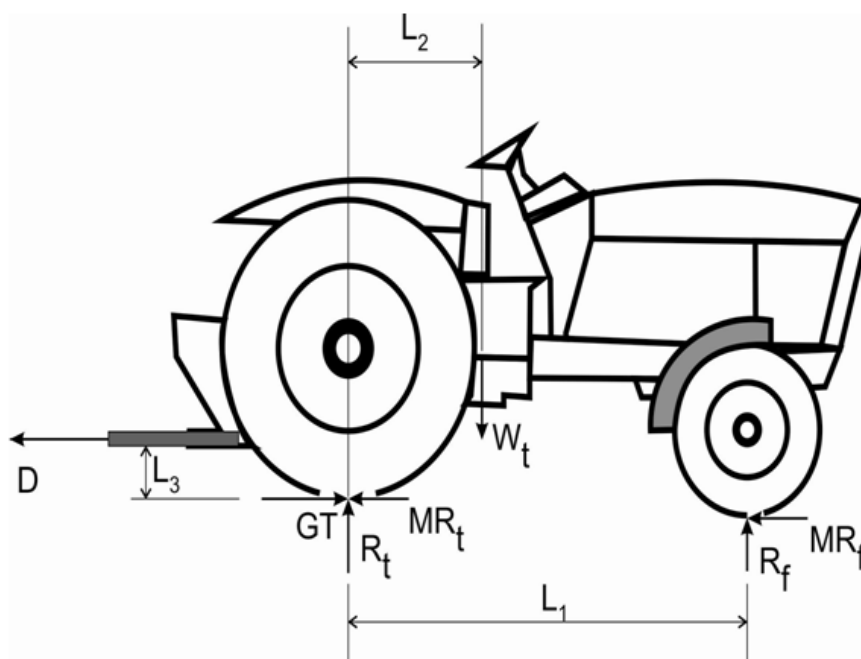


Figura 17 – Diagrama de forças atuantes no trator.
Fonte: Adaptado de QUEIROZ, 2009.

A nomenclatura das variáveis indicadas no diagrama de forças da Figura 17 é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Nomenclatura das forças atuantes no trator

Simbologia	Nomenclatura	Unidade de medida
W_t	Peso do trator	N
R_f	Reação do solo no eixo dianteiro, na direção vertical	N
R_t	Reação do solo no eixo traseiro, na direção vertical	N
D	Força aplicada na barra de tração	N
GT	Força de tração bruta do rodado traseiro	N
MR_f	Resistência ao rolamento do rodado dianteiro	N
MR_t	Resistência ao rolamento do rodado traseiro	N
$L1$	Distância entre eixos	m
$L2$	Distância horizontal entre o centro da roda traseira e o centro de gravidade do trator	m
$L3$	Altura da barra de tração	m

3.7.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora segundo o modelo da ASABE

O modelo matemático para predição da força requerida para tração da semeadora-adubadora recomendado pela norma técnica ASAE D497.7 MAR2011 e utilizado neste trabalho é o apresentado na equação 24.

$$D = F_i \cdot [A + B(S) + C(S)^2] \cdot W \cdot T \quad (24)$$

em que:

D = força requerida para tração da semeadora-adubadora (N);

F = parâmetro de ajuste da textura do solo (adimensional);

i = textura do solo, sendo:

- 1 para solo de textura fina,
- 2 para solo de textura média e
- 3 para solo de textura grossa.

A , B e C = parâmetros específicos para o tipo de máquina utilizada;

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

W = largura da máquina (m) ou número de elementos ativos; e

T = profundidade do sulco (cm) para ferramentas maiores. Para ferramentas menores e sulcadores de semeadora, T é igual a 1 (adimensional).

Os parâmetros dependentes do tipo de máquina (A , B e C), número de órgãos ativos (W) e de ajuste da textura do solo utilizados nos cálculos foram obtidos na Tabela 1 da norma técnica em estudo (ASAE D497.7MAR2011).

Os valores relacionados à semeadora-adubadora para plantio direto e à textura do solo foram transcritos dessa tabela para o Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros relacionados à máquina e à textura do solo

Implemento	Largura ou Unidade	Parâmetro da máquina			Parâmetro de solo			Variação
		A	B	C	F1	F2	F3	%
Semeadora-adubadora (plantio direto)	linhas	3400,0	0,0	0,0	1,0	0,94	0,82	±35,0

Fonte: Transcrito de ASAE D497.7MAR2011.

Para facilitar comparações e as análises realizadas, modificaram-se os símbolos de algumas variáveis que compunham o modelo matemático proposto pela ASABE (2011b), substituindo-os por outros adotados anteriormente neste trabalho. No caso específico do modelo matemático para predição da força requerida para tração da semeadora-adubadora, foram substituídos os símbolos de apenas duas variáveis, D por F_{SM} e S por V_M , mantendo-se os demais na forma original. Desse modo, o modelo apresentado na equação 24 passou a ser redigido conforme o apresentado na equação 25.

$$F_{SM} = F_i \cdot [A + B(V_M) + C(V_M)^2] \cdot W \cdot T \quad (25)$$

em que:

F_{SM} = força requerida para tração da semeadora-adubadora (N); e

V_M = velocidade de deslocamento (km h^{-1}).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a realização do experimento foram apresentados em forma de tabelas e figuras. As análises e discussões sobre o comportamento das variáveis em estudo foram feitas em razão das velocidades de deslocamento e tipos de mecanismos sulcadores utilizados no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora. Nos casos em que a interação foi significativa, elas foram feitas com base na análise de regressão (teste t) a 5% de probabilidade, adotando-se o melhor modelo, selecionado a partir do coeficiente de determinação (R^2) de maior grau.

4.1. Caracterização física do solo da área experimental

A caracterização física de um solo, segundo Silveira (2008), é fundamental para a compreensão de seu estado no campo e para a previsão do seu comportamento em determinadas situações, como aquelas relacionadas com a demanda energética de conjuntos mecanizados operando em sistema de plantio direto.

Neste trabalho, as características físicas do solo da área experimental foram analisadas e discutidas com base nos resultados obtidos experimentalmente.

4.1.1. Análise granulométrica e textura do solo

O Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa realizou análise granulométrica nas amostras de solo coletadas na área experimental e quantificou as frações de areia grossa, areia fina, silte e argila contidas no material examinado. Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise granulométrica do solo da área experimental

Profundidade da amostra (m)	Areia grossa (dag kg⁻¹)	Areia fina (dag kg⁻¹)	Silte (dag kg⁻¹)	Argila (dag kg⁻¹)
0,00 – 0,20	18,00	12,00	8,00	62,00

Com base nesses resultados, o laboratório responsável pelas referidas análises classificou o solo da área experimental como muito argiloso.

Os solos mais problemáticos para as operações com mecanismos sulcadores são aqueles cuja textura varia de argilosa a muito argilosa, pois a aderência de solos nos mecanismos sulcadores (disco de corte, haste ou disco duplo) é tanto maior quanto maiores forem os teores de argila e água do solo (SIQUEIRA, 2008). Para esse autor, essa agregação de solo facilita a aderência de palhas, além de formarem sulcos mais largos e aumentar a mobilização de solo, também causando embuchamentos. Pelo exposto, torna-se claro que essa aderência tende a influenciar negativamente a força requerida para tração da semeadora-adubadora.

4.1.2. Densidade e teor de água do solo

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da densidade e teor de água em duas profundidades de solo. Os valores são médios, resultantes do cálculo da média aritmética dos valores individuais obtidos em cada amostra analisada.

Tabela 3 – Densidade e teor de água do solo

Profundidade da amostra (m)	Densidade (kg m⁻³)	Teor de água (kg kg⁻¹)
0,00 – 0,10	1253,00	0,16
0,10 – 0,20	1256,00	0,19

Os resultados da Tabela 3 indicam que os valores da densidade e teor de água aumentaram à medida que a profundidade do solo também aumentou. Os valores obtidos na faixa de 0,10 a 0,20 m são maiores que os da faixa de 0,00 a 0,10 m de profundidade.

O fato de a densidade se elevar com o aumento da profundidade do solo em áreas utilizadas com culturas anuais pode ser tecnicamente explicado pelo efeito do manejo do solo, uma vez que a mobilização superficial aumenta a porosidade total, diminuindo a densidade do solo nas camadas superficiais (SILVEIRA et al., 2008). Esses autores observaram que, em sistema de plantio direto contínuo, a porosidade total, em termos percentuais, foi maior na camada de 0 a 0,10 m que na de 0,10 a 0,20 m. Observaram ainda que a variável densidade do solo apresentou comportamento contrário, ou seja, que o valor obtido na camada de 0,10 a 0,20 m foi maior que na camada de 0 a 0,10 m. Outra explicação para esse fenômeno apresentada por esses mesmos autores refere-se aos efeitos das pressões provocadas pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, em condições inadequadas de umidade, especialmente em solo argiloso, que podem provocar a degradação da estrutura do solo e causar a compactação subsuperficial.

Fernandes et al. (2007) avaliaram a demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo realizada em solo muito argiloso, com frações texturais presentes no solo de 64% de argila, 15% de silte, 15% de areia grossa e 11% de areia fina. Encontraram valores para a densidade do solo, nas profundidades de 0,00 a 0,15 m e de 0,15 a 0,20 m, de 1,13 kg dm⁻³ (1.130,00 kg m⁻³) e de 1,04 kg dm⁻³ (1.040,00 kg m⁻³),

respectivamente. Nessas mesmas profundidades, os teores de água encontrados no solo foram de 0,264 e 0,278 kg kg⁻¹, respectivamente.

Já Rinaldi (2008), ao avaliar a influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura de feijão, trabalhou em faixas de profundidade idênticas às deste trabalho. O maior valor de densidade do solo, 1,28 kg dm⁻³ (1.280,00 kg m⁻³), foi obtido na profundidade de 0,00 a 0,10 m, contra 1,18 kg dm⁻³ (1.180,00 kg m⁻³), encontrado na profundidade de 0,10 m a 0,20 m. Mas a maior porcentagem de teor de água no solo foi observada na faixa de 0,10 m a 0,20 m de profundidade (25,15%), enquanto na de 0,00 a 0,10 m se obtiveram somente 24,16%.

Ao comparar os resultados obtidos por Fernandes et al. (2007) e Rinaldi (2008) com os deste trabalho, verificou-se que a variável densidade do solo apresentou comportamento oposto, uma vez que houve decréscimo nos valores obtidos por esses autores à medida que a profundidade aumentou. No entanto, os resultados do teor de água no solo foram semelhantes, ou seja, todos aumentaram com a profundidade.

4.1.3. Resistência do solo à penetração

Na Figura 18 são apresentados os resultados obtidos na área experimental para a resistência do solo à penetração em função da profundidade. Nessa figura, o eixo das abscissas mostra os valores médios de resistência do solo à penetração, expressos em MPa; e o das ordenadas, os valores de profundidade, em metro.

Observou-se que a resistência do solo à penetração aumentou com a profundidade até atingir seu valor máximo (2,50 MPa) na maior profundidade do experimento (0,30 m). Os valores dessa variável nas profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m foram de 1,79 MPa, 2,33 MPa e 2,50 MPa, respectivamente.

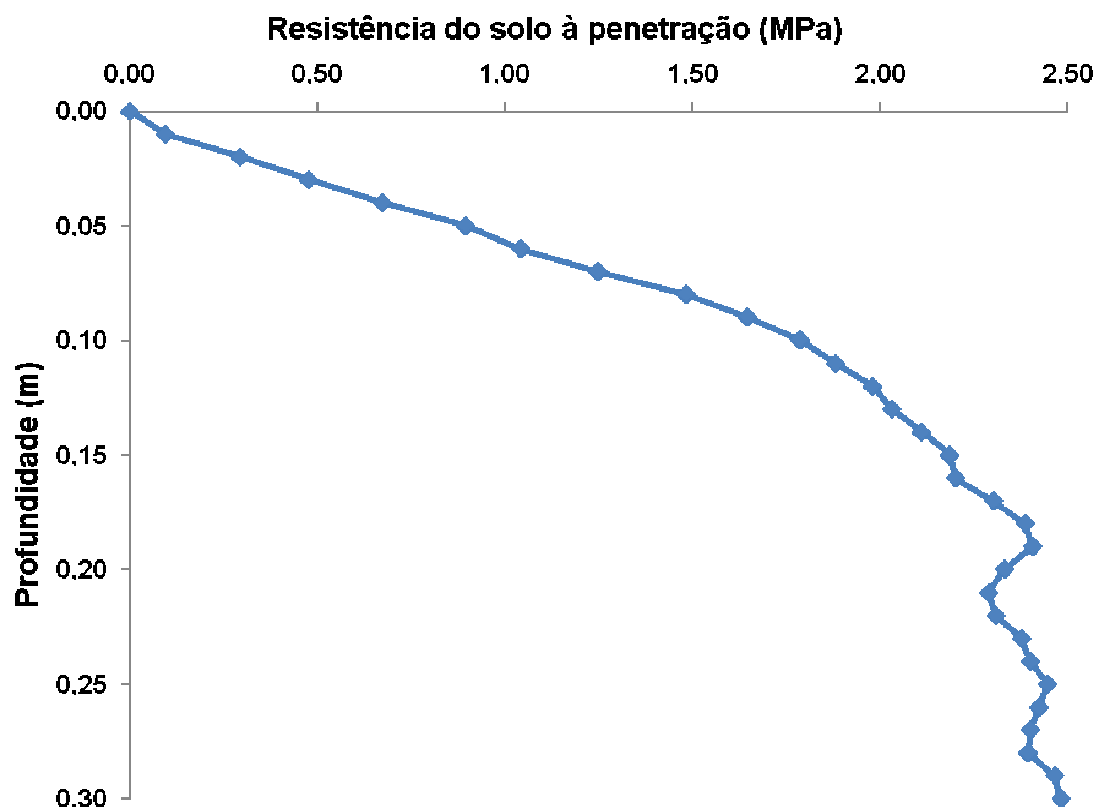


Figura 18 – Resistência do solo à penetração em função da profundidade.

Esses valores indicaram que o maior incremento no valor dessa variável ocorreu na faixa de 0,00 m a 0,10 m (1,79 MPa), seguido do aumento ocorrido na faixa intermediária, que se estendia de 0,10 m a 0,20 m (0,54 MPa); e do obtido na faixa que se iniciava em 0,20 m e terminava em 0,30 m de profundidade (0,17 MPa).

Ao estudarem a variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas, Genro Júnior et al. (2004) comentaram que a resistência do solo à penetração é fortemente influenciada pela densidade e teor de água do solo. Já Oliveira et al. (2007) observaram que, em condições de baixa umidade, a resistência à penetração e a densidade do solo apresentam correlação positiva. Verificaram também, ao aumentarem a umidade, que as curvas representativas da relação entre resistência à penetração e densidade do solo se mostravam menos inclinadas, com tendências de a resistência à penetração se tornar constante, independentemente do adensamento do

solo, quando sua umidade se aproximar da sua capacidade de campo. Esse fato, na opinião daqueles autores, demonstra a importância da quantificação da umidade do solo por ocasião da determinação da resistência à penetração.

Os resultados deste trabalho e a Figura 18 evidenciam que, nas faixas de profundidade estudadas, a variável teor de água predominou e exerceu mais influência no comportamento da resistência do solo à penetração que a densidade do solo.

A partir dos resultados alcançados para a variável em estudo, calculou-se o índice de cone médio da área experimental, obtendo o valor de 1,85 MPa.

A norma técnica ASAE D497.7MAR2011 classifica os solos que apresentam índice de cone superior ou igual a 1.800 kPa (1,80 MPa) como duro, conforme ocorreu com o solo da área experimental (ASABE, 2011b).

Em trabalho conduzido por Fernandes et al. (2007) em área com solo muito argiloso, mesma classe textural do solo utilizado neste trabalho, esses autores obtiveram índices de cone de 1,61 MPa; 1,71 MPa; 1,87 MPa; e 1,96 MPa, nas profundidades de 0,00 a 0,15 m; 0,15 a 0,20 m; 0,20 a 0,25 m; e 0,25 a 0,30 m, respectivamente. Já Rinaldi (2008), trabalhando em área com solo de textura franco-argilosa e profundidades de 0,00 a 0,30 m, encontrou valores da resistência do solo à penetração variando de 0,00 a 2,38 MPa, valores esses próximos aos deste trabalho.

4.2. Desempenho operacional do conjunto mecanizado

O desempenho operacional do conjunto mecanizado foi avaliado por meio das seguintes variáveis: força e potência requeridas para tração da semeadora-adubadora; consumo horário e específico de combustível (volumétrico e ponderal); volume médio e específico de solo mobilizado; e energia requerida por volume de solo mobilizado, entre outras.

Para essas variáveis foram ajustados modelos matemáticos em função da velocidade de deslocamento e da configuração de montagem da linha de plantio da semeadora-adubadora que levaram em consideração

fatores como a dinâmica e as interações entre a máquina, o solo e o homem, uma vez que os dados utilizados para gerar os modelos eram experimentais.

As figuras seguintes foram geradas a partir dos modelos e contribuíram para o melhor entendimento sobre o comportamento das variáveis estudadas.

4.2.1. Velocidade de deslocamento

Na Tabela 4 são apresentadas as médias dos resultados obtidos experimentalmente das velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado operando em condições preestabelecidas de marcha, rotação do eixo do motor e configuração de montagem de linha de plantio. Segundo o estabelecido, a semeadora-adubadora operou, inicialmente, em posição de transporte e, posteriormente, com seus elementos ativos mobilizando o solo.

Os valores dos experimentos das velocidades de deslocamento foram comparados com os apresentados no mapa de escalonamento de marchas e na tabela de velocidades fornecidos pelo fabricante do trator.

Os resultados da condição inicial quando a semeadora-adubadora estava em posição de transporte mostraram-se inseridos nas faixas de velocidades informadas pelo fabricante do trator para todas as combinações de marcha e rotação do eixo do motor. Esse fato se repetiu no campo experimental quando esse conjunto de máquinas foi submetido aos ensaios em condições efetivas de operação, utilizando os mecanismos sulcadores tipo disco duplo defasado e facão, no sistema de deposição de adubo.

Em todas as combinações de marcha e rotação do eixo do motor, a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora em posição de transporte foi maior do que as obtidas com esse conjunto efetivamente em operação. No entanto, quando foram comparadas as velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora em operação, nas duas configurações de montagem da linha de plantio constataram-se médias mais elevadas de velocidade para a configuração “A”, ou seja, para a que utilizou o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado no sistema de deposição de adubo.

A configuração “B”, que utilizou o mecanismo sulcador tipo facão, foi a que apresentou as menores médias de velocidade para todas as combinações de marcha e rotação do eixo do motor. Esse resultado era o esperado e pode ser explicado pelo fato de o mecanismo sulcador tipo facão ser projetado para abrir sulcos destinados à deposição de adubo e romper camadas de solo mais profundas e adensadas, em comparação com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado, que apenas abre o sulco, em profundidade menor, para deposição do adubo. Cabe destacar ainda que o mecanismo sulcador tipo facão, pela sua forma construtiva e capacidade de atuar em profundidades maiores, tende a apresentar, em condições operacionais idênticas, maior volume de solo mobilizado e maior resistência ao deslocamento que o disco duplo defasado. Consequentemente, o mecanismo sulcador tipo facão demanda maior esforço de tração e potência dos tratores, fatos que podem explicar os resultados deste trabalho sobre a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Comparando os resultados da variável em estudo com a semeadora-adubadora utilizando mecanismos sulcadores do tipo disco duplo defasado e facão, constatou-se que a utilização do facão reduziu a velocidade em percentuais que variaram de 1,1% a 13,8%, mantidas as mesmas marchas e rotações do eixo do motor. A maior redução (13,8%) foi observada na condição em que o conjunto mecanizado operou na 6ª marcha (3RA), com o motor trabalhando a 1.600 rotações por minuto. Já a menor redução (1,1%) foi verificada quando o conjunto mecanizado operou na 4ª marcha (2RA) e o motor a 1.800 rotações por minuto. Essa redução na velocidade pode estar associada com a maior patinagem das rodas motrizes do trator quando este trabalhou com a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, indicando que o aumento da patinagem diminuiu a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Para estudarem a demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária, Andreolla e Gabriel Filho (2006) trabalharam com mecanismos sulcadores semelhantes aos utilizados neste trabalho, tipo haste e disco duplo defasado. Constataram, ao final, que a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora equipado com

mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado foi maior que a obtida com a utilização do mecanismo sulcador tipo haste. Constataram também que, mantidas a mesma marcha e a rotação inicial do motor, ocorreu diminuição de 6,0% na velocidade do conjunto mecanizado quando o mecanismo sulcador tipo haste foi utilizado.

Neste trabalho, utilizando o trator operando na 6ª marcha, denominada 3RA, observou-se aumento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado em decorrência do aumento na rotação do eixo do motor em todas as condições ensaiadas.

Os incrementos observados nos valores dessa variável foram diferenciados e variaram de 3,6% a 8,1%. O maior aumento ocorreu na condição em que a semeadora-adubadora operou com a linha de plantio montada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração "B"). Com essa configuração, a velocidade de deslocamento aumentou de 5,67 km h⁻¹ para 6,13 km h⁻¹, correspondendo a um aumento de 8,1%.

O menor aumento foi observado na condição em que a semeadora-adubadora operou com a linha de plantio montada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração "A"). Nessa configuração, a velocidade de deslocamento aumentou de 6,58 km h⁻¹ para 6,82 km h⁻¹, correspondendo a um aumento de 3,6%.

Na condição inicial, com a semeadora-adubadora operando em posição de transporte, a velocidade de deslocamento aumentou de 6,69 km h⁻¹ para 7,14 km h⁻¹, correspondendo a um aumento de 6,7%.

Tabela 4 – Velocidades médias de deslocamento do conjunto mecanizado

Marcha selecionada	Rotação do eixo do motor (rpm)	Semeadora-adubadora					
		Posição de transporte		Efetivamente em operação			
				Configuração “A”		Configuração “B”	
		Identificação	Velocidade (km h ⁻¹)	Identificação	Velocidade (km h ⁻¹)	Identificação	Velocidade (km h ⁻¹)
2RA	1800	V _{M1}	3,95	V _{M1A}	3,72	V _{M1B}	3,68
3RB	1600	V _{M2}	5,16	V _{M2A}	4,86	V _{M2B}	4,77
3RA	1600	V _{M3}	6,69	V _{M3A}	6,58	V _{M3B}	5,67
3RA	1800	V _{M4}	7,14	V _{M4A}	6,82	V _{M4B}	6,13
1SB	1700	V _{M5}	8,23	V _{M5A}	7,68	V _{M5B}	6,89

4.2.2. Força requerida para tração da semeadora-adubadora

Nos ensaios realizados com a semeadora-adubadora utilizando o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado no sistema de deposição de adubos (configuração “A”), a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado não influenciou na força requerida para tração e, sim, quando esse mecanismo (disco duplo defasado) foi substituído por outro do tipo facão (configuração “B”).

Para a configuração de montagem da linha de plantio “A”, o modelo de regressão ajustado para a variável em estudo mostrou-se não significativo. Por essa razão, foi representado pela equação da reta constituída por uma constante cujo valor correspondia à média aritmética dos valores da força requerida para tração da semeadora-adubadora, obtidos experimentalmente nas cinco velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado. A equação 26 representa esse modelo.

$$F_{SMA} = 3,432 \quad (26)$$

em que:

F_{SMA} = força média requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “A” (kN).

Para a configuração de montagem da linha de plantio “B”, observou-se que o modelo de regressão ajustado para a variável em estudo apresentou comportamento linear crescente com o aumento da velocidade de deslocamento e coeficiente de determinação (r^2) de 0,5183. A equação 27 representa o modelo de regressão ajustado para essa configuração.

$$F_{SMB} = - 0,0563 + 1,1869 V_{MB} \quad (27)$$

em que:

F_{SMB} = força média requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “B” (kN); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

O coeficiente de determinação (r^2) obtido para esse modelo de regressão permitiu observar que 51,83% da variação ocorrida na força requerida para tração da semeadora-adubadora utilizando uma linha de

plântio montada na configuração “B” pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 19 é mostrado o comportamento dessa variável em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado para as duas configurações de montagem da linha de plântio.

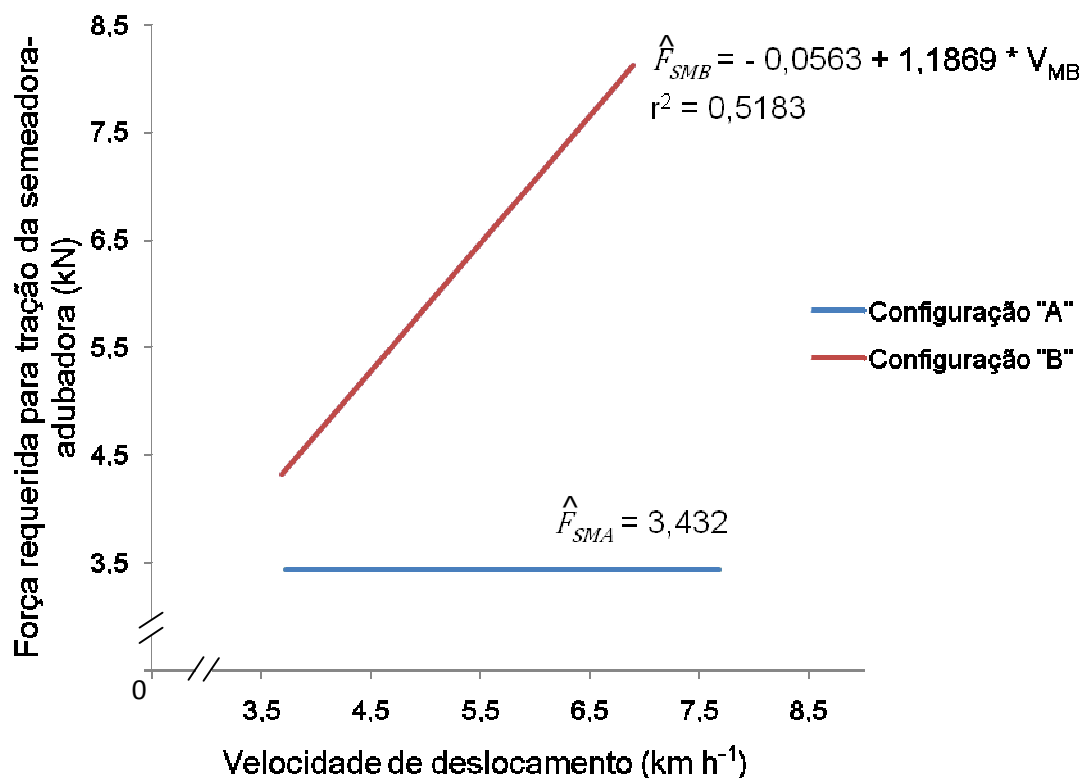


Figura 19 – Estimativa da força requerida para tração da semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plântio.

Observa-se, na Figura 19, que o conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” apresentou comportamento linear de valor constante igual a 3,432 kN, sugerindo independência entre as variáveis. Nessas condições, constatou-se que as velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado compreendidas no intervalo de 3,72 km h⁻¹ a 7,68 km h⁻¹ não influenciaram as forças requeridas

para tração da semeadora-adubadora quando esta utilizou o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado no sistema de deposição de adubo.

Na semeadora-adubadora montada na configuração “B”, observou-se relacionamento positivo entre as variáveis com comportamento linear crescente à taxa de 1,1869 por unidade de velocidade, ou seja, para cada incremento de 1,0 km h⁻¹ na velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, a força média requerida para tração da semeadora-adubadora aumentou em 1,1869 kN, por linha de plantio. Observou-se ainda, nessa configuração de montagem, que a menor velocidade de deslocamento (3,68 km h⁻¹) foi a que requereu a menor força de tração por linha de plantio (4,311 kN) e a maior velocidade (6,89 km h⁻¹), a que exigiu a maior força de tração (8,121 kN), resultando numa variação percentual de 188,38% para mais nos valores da variável dependente (força requerida para tração da semeadora-adubadora). Pode-se destacar também, nessa configuração de montagem da linha de plantio, a constatação de que, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior a força requerida para tração da semeadora-adubadora.

Ao comparar os resultados das duas configurações de montagem da linha de plantio, observou-se que a configuração cujo mecanismo sulcador era do tipo facão requereu maior força para tração da semeadora-adubadora que a configuração equipada com o disco duplo defasado, em todas as velocidades de deslocamento. Foram constatados aumentos na exigência da força de tração de 27,0% e 136,6%, nas velocidades de 3,72 km h⁻¹ e 6,89 km h⁻¹, respectivamente. Esses aumentos mostraram que a exigência de força de tração é um parâmetro diretamente ligado ao tipo de mecanismo sulcador e à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Contudo, cabe destacar a forte influência exercida pelo mecanismo sulcador tipo facão e, principalmente, o efeito da interação deste com a velocidade de deslocamento sobre a força requerida para tração da semeadora-adubadora.

Ao avaliarem a demanda energética de mecanismos sulcadores tipo haste e disco duplo de uma semeadora-adubadora de plantio direto em três profundidades e dois espaçamentos entre linhas da cultura do milho (*Zea mays* L.), Silva e Benez (2005) concluíram que a semeadora-

adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo haste requer maior força de tração do que quando está equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo, sendo essa diferença, em média, de 97,4% a mais.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mahl et al. (2007) ao avaliarem o desempenho energético de uma semeadora-adubadora de plantio direto em dois tipos de solo com distintas vegetações e diferentes velocidades de semeadura, elementos de corte e sulcadores. Esses autores observaram que as demandas de força de tração e potência foram influenciadas pelo tipo de mecanismo sulcador e pela velocidade de deslocamento. Concluíram que, em solo de textura argilosa, o mecanismo sulcador tipo haste demandou maior força de tração e potência média que o mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado.

Andreolla e Gabriel Filho (2006) também constataram que a força de tração exigida pela semeadora equipada com mecanismo sulcador tipo haste é maior que a exigida pela semeadora equipada com mecanismo sulcador tipo disco duplo. Observaram que essa força (exigida pelo mecanismo sulcador tipo haste) é 4,35 vezes maior que a exigida pelo disco duplo.

Já Modolo et al. (2004) não observaram efeito da velocidade de deslocamento no requerimento de força de tração quando trabalharam em solo de textura argilosa com duas semeadoras equipadas com mecanismos sulcadores diferentes, sendo um do tipo guilhotina e outro do tipo disco duplo defasado, em duas velocidades de deslocamento.

O efeito da velocidade de deslocamento sobre o requerimento de força de tração também não foi observado por Cortez et al. (2008) durante a avaliação do desempenho de um trator agrícola sob dois sistemas de preparo do solo (sistemas de plantio direto e convencional), juntamente com três marchas na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*, as quais proporcionaram velocidades de 4 km h⁻¹, 5 km h⁻¹ e 7 km h⁻¹. No entanto, esses resultados, obtidos por Modolo et al. (2004) e Cortez et al. (2008), são semelhantes aos deste trabalho para a semeadora-adubadora que estava montada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”) e operou em velocidades variando de 3,72 km h⁻¹ a 7,68 km h⁻¹.

4.2.3. Potência requerida para tração da semeadora-adubadora

A potência requerida para tração da semeadora-adubadora foi influenciada pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência da velocidade de deslocamento na variável em estudo, em ambas as configurações de montagem de linha de plantio, apresentou resultados significativos. Estes permitiram tal afirmativa e mostraram que os incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado resultaram em aumentos proporcionais na potência requerida para a tração da semeadora-adubadora.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável apresentaram relacionamentos positivos com comportamentos não lineares, do tipo potencial, crescentes com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e coeficientes de determinação (R^2) de 0,7473 e 0,7829, para as configurações “A” e “B”, respectivamente. Esses modelos são representados pelas equações 28 e 29.

$$P_{SMA} = 0,4421 \cdot V_{MA}^{1,42023} \quad (28)$$

$$P_{SMB} = 0,3556 \cdot V_{MB}^{1,93657} \quad (29)$$

em que:

P_{SMA} = potência requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “A” (kW);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h^{-1});

P_{SMB} = potência requerida para tração da semeadora-adubadora, na configuração “B” (kW); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os modelos de regressão ajustados para essa variável permitiram observar que 74,73% e 78,29% das variações ocorridas nas potências requeridas para tração da semeadora-adubadora equipada com mecanismos sulcadores tipo disco

duplo defasado (configuração “A”) e facção (configuração “B”), respectivamente, puderam ser explicadas pelas alterações nas velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 20 é apresentado o comportamento da variável potência requerida para tração da semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

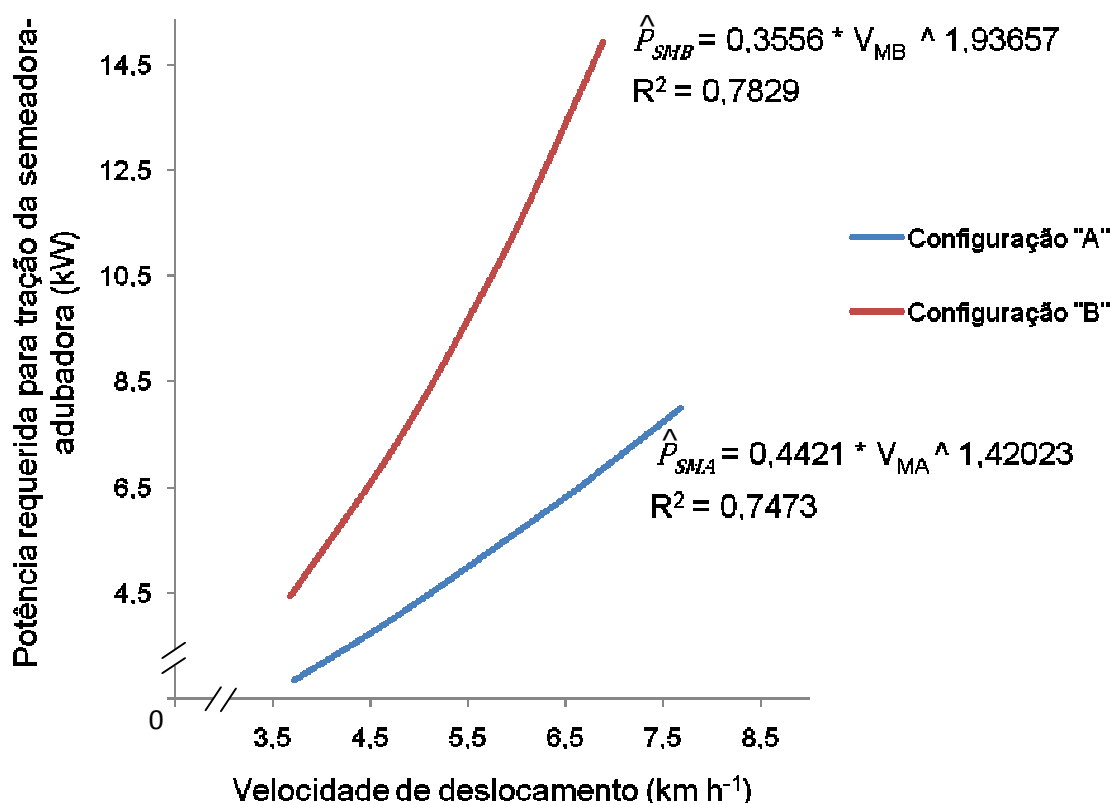


Figura 20 – Estimativa da potência requerida para tração da semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

Na Figura 20, pode-se observar e confirmar o relacionamento positivo entre as variáveis e o comportamento não linear, tipo potencial, crescente, com incremento na potência requerida para tração da semeadora-adubadora, em decorrência de aumento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, para as duas configurações de montagem da linha de plantio. Observa-se também, em velocidades de deslocamento idênticas, que os menores valores de potência estavam associados à configuração “A”, indicando, para as condições experimentais, que a configuração equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado no sistema de deposição de adubos demandou menor potência para tracionar a semeadora-adubadora que a configuração “B”, em que foi montado o mecanismo sulcador tipo facão.

Na configuração “A”, a menor velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado ($3,72 \text{ km h}^{-1}$) foi a que exigiu a menor potência para tração da semeadora-adubadora (2,856 kW) e a maior velocidade ($7,68 \text{ km h}^{-1}$), a que exigiu a maior potência (7,997 kW), resultando numa variação percentual de 180,0% para mais nos valores da variável dependente (potência requerida para tração da semeadora-adubadora).

Na configuração “B”, observou-se fato semelhante, pois a menor velocidade de deslocamento ($3,68 \text{ km h}^{-1}$) foi a que exigiu a menor potência (4,434 kW), e a maior velocidade ($6,89 \text{ km h}^{-1}$) foi a que exigiu a maior potência (14,936 kW), resultando numa variação percentual de 236,9% para mais nos valores da variável dependente (potência requerida para tração da semeadora-adubadora).

Observou-se ainda, nas curvas geradas pelos modelos, que os efeitos da velocidade de deslocamento na potência requerida para tração da semeadora-adubadora ocorreram com taxas de crescimento distintas para as duas configurações de montagem de linha de plantio. A configuração “A” obteve taxas de crescimento menores do que as obtidas pela configuração “B”, indicando que, nas condições experimentais, o incremento observado na potência em decorrência de aumento na velocidade foi menor na configuração “A” do que na configuração “B”, ou seja, o incremento observado na variável potência correspondente ao aumento de $1,0 \text{ km h}^{-1}$ na velocidade foi menor na configuração “A” do que na “B”. Destaca-se, no

entanto, que a potência varia em função da força e da velocidade. Portanto, para determinada condição em que a intensidade da força é constante, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior a potência requerida para tração da semeadora-adubadora.

Ao comparar os resultados obtidos das duas configurações de montagem da linha de plantio, observou-se que a configuração cujo mecanismo sulcador era do tipo facão requereu maior potência para tração da semeadora-adubadora que a configuração equipada com o disco duplo defasado, em todas as velocidades de deslocamento. Foram constatados aumentos de 58,5% e 117,9% na exigência de potência, quando a semeadora-adubadora deslocou nas velocidades de 3,72 km h⁻¹ e 6,89 km h⁻¹, respectivamente. Esses aumentos evidenciaram que a exigência de potência para tração de semeadora-adubadora é um parâmetro diretamente ligado ao tipo de mecanismo sulcador e à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Contudo, cabe novamente destacar a influência exercida pelo mecanismo sulcador tipo facão e o efeito da interação deste com a velocidade de deslocamento sobre a potência requerida para tração da semeadora-adubadora.

Adicionalmente, observou-se pelas figuras e confirmou-se, por meio dos modelos de regressão ajustados para a variável em estudo que, para as condições experimentais e velocidades de deslocamento de 4,0 km h⁻¹, 5,0 km h⁻¹ e 6,0 km h⁻¹, a potência requerida para tração da semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”) era maior que a requerida para tração da semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”), em 64,6%, 84,7% e 102,9%, respectivamente.

Estudos realizados por Silveira et al. (2013), com o objetivo de avaliar a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em função das velocidades de deslocamento e rotações no eixo do motor, na semeadura da cultura do milho mostraram que a demanda de potência é influenciada pela velocidade de deslocamento, corroborando o que foi observado neste trabalho. Esses autores verificaram que a cada unidade de variação na velocidade houve acréscimo de 0,68 kW da potência na barra por linha de semeadura. Os valores médios obtidos da

variável em estudo foram de 2,32 kW, 2,67 kW, 3,69 kW e 4,72 kW por linha de semeadura, da menor para a maior velocidade (3,5 km h⁻¹, 4,0 km h⁻¹, 5,5 km h⁻¹ e 7,0 km h⁻¹), representando um aumento de 104,74% quando a velocidade passou de 3,5 km h⁻¹ para 7,0 km h⁻¹.

Os valores médios da variável em estudo encontrados por aqueles autores são menores que os obtidos neste trabalho. Uma possível justificativa para esse fato pode ser dada com base nas diferenças obtidas para alguns atributos físicos do solo das duas áreas experimentais que eram de textura muito argilosa. Os valores da densidade, teor de água e resistência do solo à penetração obtidos neste trabalho são piores que os obtidos pelos referidos autores, como demonstrado a seguir: o índice de cone médio da área experimental utilizada neste trabalho é de 1,85 MPa, enquanto o maior valor obtido pelos referidos autores desse atributo foi de 1,36 MPa. Os valores da densidade do solo nas camadas de 0,00 a 0,10 m e de 0,10 m a 0,20 m, obtidas neste trabalho, foram 19,3% e 13,2% maiores que os obtidos pelos referidos autores, enquanto nessas mesmas camadas de profundidade os teores de água encontrados nesta pesquisa foram menores que os obtidos por aqueles autores, 50,0% e 36,8%, respectivamente. É possível que as diferenças encontradas nesses atributos físicos do solo tenham contribuído para aumentar a força requerida para tração e, conseqüentemente, o requerimento de potência, justificando-se por meio dessas diferenças os maiores valores encontrados nesta pesquisa para a variável em estudo.

Ao avaliar a potência requerida por semeadoras-adubadoras equipadas com diferentes tipos de mecanismos sulcadores, em solo argiloso, Mahl et al. (2007) e Andreolla e Gabriel Filho (2006) constataram que as demandas de potência foram influenciadas pelo tipo de mecanismo sulcador e pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Constataram ainda que, entre os tipos de sulcadores avaliados, o facão é o que exige a maior potência, em decorrência de sua maior profundidade de atuação e mobilização de solo, fato esperado e também observado neste trabalho.

4.2.4. Consumo de combustível

Foram ajustados modelos de regressão em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, para as seguintes variáveis: consumo horário de combustível (volumétrico e ponderal); consumo específico de combustível; e consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado.

Os ensaios foram realizados com os mecanismos sulcadores tipo disco duplo defasado (configuração “A”) e facão (configuração “B”) montados no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora, em cinco velocidades de deslocamento distintas.

4.2.4.1. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível foi influenciado pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência da velocidade de deslocamento na variável em estudo apresentou resultados significativos para as duas configurações de montagem (“A” e “B”). O consumo horário de combustível aumentou em decorrência de aumento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável apresentaram relacionamentos positivos com comportamentos distintos das duas configurações de montagem da linha de plantio.

Para o consumo horário de combustível, expresso em termos volumétricos, os modelos ajustados foram do tipo exponencial para a configuração “A” e do tipo linear para a configuração “B”. Ambos cresceram com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,7673 e (r^2) de 0,6337, respectivamente. Esses modelos são representados pelas equações 30 e 31.

$$C_{hvMA} = 13,3706 \cdot 1,1377^{V_{MA}} \quad (30)$$

$$C_{hvMB} = 12,8656 + 5,3346 \cdot V_{MB} \quad (31)$$

em que:

C_{hvMA} = consumo horário médio de combustível (volumétrico), na configuração “A” ($L h^{-1}$);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” ($km h^{-1}$);

C_{hvMB} = consumo horário médio de combustível (volumétrico), na Configuração “B” ($L h^{-1}$); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” ($km h^{-1}$).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 76,73% da variação ocorrida no consumo horário de combustível (volumétrico) pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o obtido para o modelo da configuração “B” mostrou que 63,37% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade do referido conjunto.

Na Figura 21 é mostrado o comportamento da variável consumo horário de combustível, em termos volumétricos, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

As curvas apresentadas na Figura 21 e as equações 30 e 31 permitiram confirmar os comportamentos do tipo exponencial e linear das configurações “A” e “B”, respectivamente. Permitiram constatar que os incrementos na velocidade de deslocamento provocaram aumentos proporcionais no consumo horário de combustível (volumétrico) do conjunto mecanizado, em ambas as configurações de montagem da linha de plantio.

Por meio dessa Figura 21 e das referidas equações, pode-se determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o menor consumo horário de combustível, em termos volumétricos, para cada configuração de montagem da linha de plantio.

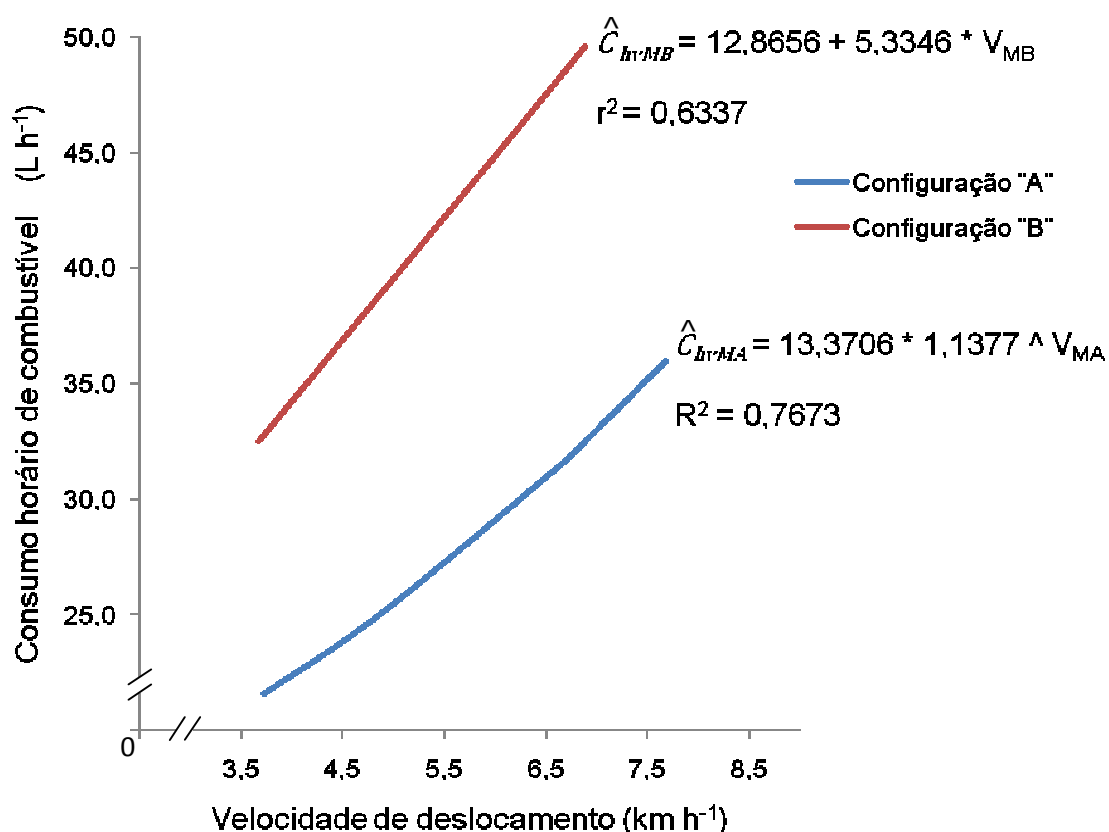


Figura 21 – Estimativa do consumo horário de combustível, em termos volumétricos, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

Nesse contexto e de modo geral, nota-se na Figura 21 que, para as velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado avaliadas neste trabalho, os menores valores de consumo horário de combustível, expressos em termos volumétricos (L h⁻¹), foram encontrados com a linha de plantio da semeadora-adubadora montada na configuração "A". De modo específico, expressando os resultados em termos numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com essa configuração ("A"), o menor valor de consumo horário de combustível (21,608 L h⁻¹) foi obtido na menor velocidade de deslocamento (3,72 km h⁻¹), o qual foi aumentando exponencialmente com o incremento da velocidade até atingir seu valor máximo (36,018 L h⁻¹), na maior velocidade de deslocamento (7,68 km h⁻¹). As diferenças entre os valores máximos e

mínimos representaram incrementos de 66,7% no consumo horário de combustível (volumétrico) para acréscimos na velocidade de 106,5%.

Para a semeadora-adubadora montada na configuração “B”, obteve-se comportamento semelhante da variável em estudo que também aumentou, porém de forma linear, crescente, com taxa de crescimento equivalente a 5,3346 unidades por unidade de velocidade, ou seja, cada incremento de 1,0 km h⁻¹ na velocidade de deslocamento aumentou o consumo horário de combustível (volumétrico) do conjunto mecanizado em 5,3346 L h⁻¹, até essa variável atingir seu valor máximo, na maior velocidade de deslocamento utilizada nos ensaios realizados com essa configuração.

Nessa configuração de montagem da linha de plantio (“B”), o menor consumo horário de combustível (32,497 L h⁻¹) foi obtido na menor velocidade de deslocamento (3,68 km h⁻¹) e o maior consumo (49,621 L h⁻¹), na maior velocidade (6,89 km h⁻¹), resultando em aumento de 52,7% nos valores da variável dependente (consumo horário de combustível, volumétrico) para um incremento de 87,2% nos valores da variável independente (velocidade de deslocamento).

Cabe destacar, entretanto, que, para ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior o volume de combustível consumido pelo conjunto mecanizado.

Adicionalmente, observou-se, ao comparar os resultados obtidos para as duas configurações de montagem da linha de plantio, que, para velocidades de deslocamento e períodos de tempo idênticos, o conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” consumiu maior volume de combustível que quando operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “A”. Isso indica que, nas condições experimentais, a configuração equipada com o mecanismo sulcador tipo facão no sistema de deposição de adubo consumiu mais combustível que a equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado. Constatou-se, também, que os resultados apresentados pelo conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” foram 51,4% e 52,6% maiores que os apresentados pela

configuração “A”, para velocidades de deslocamento de 3,72 km h⁻¹ e 6,89 km h⁻¹, respectivamente.

Esses resultados evidenciaram que, nas condições experimentais, a variável consumo horário de combustível está diretamente relacionada com o tipo de mecanismo sulcador utilizado no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora e com a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Como era esperado, os modelos ajustados para o consumo horário de combustível, expresso em termos ponderais, são idênticos aos ajustamentos para essa variável em termos volumétricos, ou seja, são dos tipos exponencial e linear, crescentes com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e com coeficientes de determinação (R^2) de 0,7673 e (r^2) de 0,6335, para as configurações “A” e “B”, respectivamente. As equações 32 e 33 representam esses modelos.

$$C_{hpMA} = 11,2248 \cdot 1,1378^{V_{MA}} \quad (32)$$

$$C_{hpMB} = 10,8186 + 4,4793 \cdot V_{MB} \quad (33)$$

em que:

C_{hpMA} = consumo horário médio de combustível (ponderal), na configuração “A” (kg h⁻¹);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h⁻¹);

C_{hpMB} = consumo horário médio de combustível (ponderal), na configuração “B” (kg h⁻¹); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h⁻¹).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 76,73% da variação ocorrida no consumo horário de combustível, expresso em termos ponderais, pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o obtido para o modelo da configuração “B” indicou que 63,35% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do referido conjunto.

Na Figura 22 é apresentado o comportamento da variável consumo horário de combustível, em termos ponderais, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

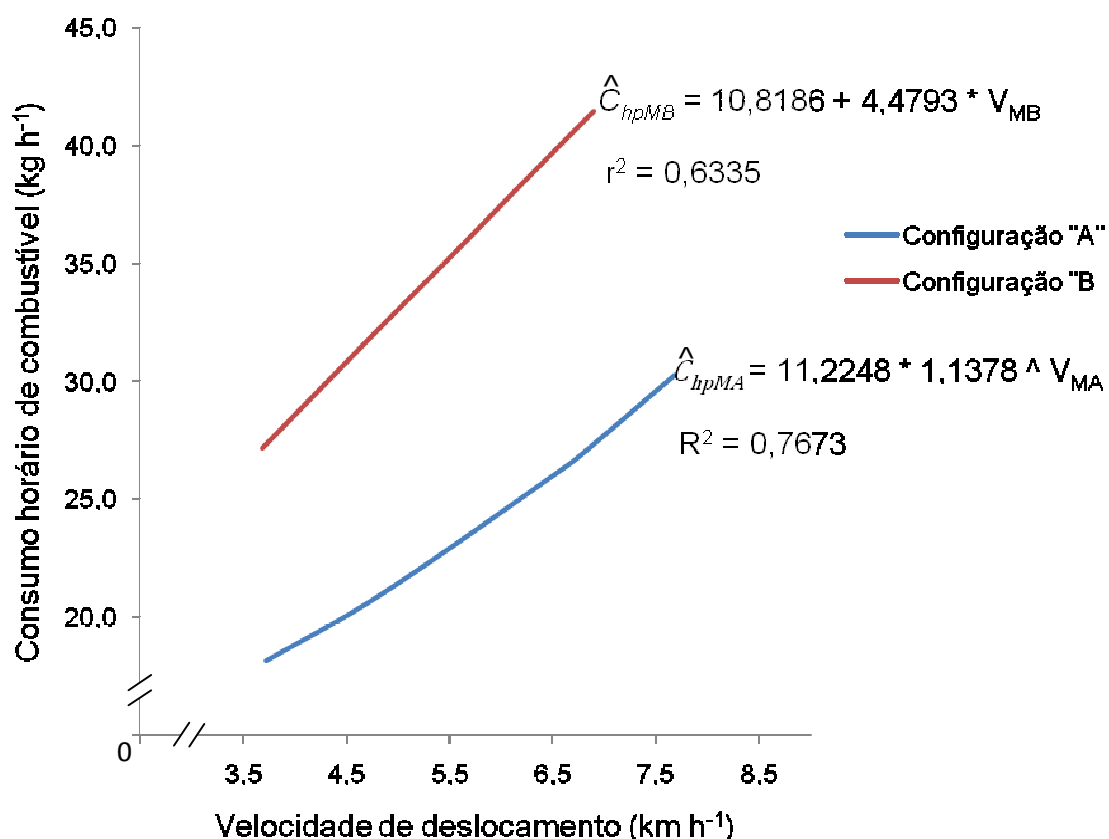


Figura 22 – Estimativa do consumo horário de combustível, em termos ponderais, em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

As curvas apresentadas na Figura 22 e as equações 32 e 33 permitiram confirmar os comportamentos dos tipos exponencial e linear das configurações “A” e “B”, respectivamente. Permitiram constatar que os incrementos na velocidade de deslocamento provocaram aumentos proporcionais no consumo horário de combustível (ponderal), em ambas as

configurações de montagem da linha de plantio, a exemplo do que já havia sido observado para essa variável quando foi mensurada em termos volumétricos.

Por meio dessa figura e das referidas equações se pode determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o menor consumo horário de combustível, em termos ponderais, para cada configuração de montagem da linha de plantio. Evidentemente, essas velocidades de deslocamento foram as mesmas determinadas para o consumo horário de combustível em termos volumétricos.

Notou-se na Figura 22 que, para as velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado avaliadas neste trabalho, os menores valores de consumo horário de combustível, expressos em termos ponderais (kg h^{-1}), também foram encontrados com a linha de plantio da semeadora-adubadora montada na configuração “A”. De modo específico, expressando os resultados em termos numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com essa configuração (“A”), o menor valor de consumo horário de combustível ($18,146 \text{ kg h}^{-1}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi aumentando exponencialmente com o aumento da velocidade até atingir seu valor máximo ($30,259 \text{ kg h}^{-1}$), na maior velocidade de deslocamento ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram incrementos de 66,7% no consumo horário de combustível (ponderal) para acréscimos na velocidade de 106,5%.

Para a semeadora-adubadora montada na configuração “B”, obteve-se comportamento semelhante da variável em estudo que também aumentou de forma linear, crescente, porém com taxa de crescimento equivalente a 4,4793 unidades por unidade de velocidade, ou seja, cada incremento de $1,0 \text{ km h}^{-1}$ na velocidade de deslocamento aumentou o consumo horário de combustível (ponderal) em $4,4793 \text{ kg h}^{-1}$ até essa variável atingir seu valor máximo, na maior velocidade utilizada nos ensaios realizados com essa configuração.

Nessa configuração de montagem da linha de plantio (“B”), o menor consumo horário de combustível ($27,187 \text{ kg h}^{-1}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,68 \text{ km h}^{-1}$) e o maior consumo

(41,465 kg h⁻¹), na maior velocidade (6,89 km h⁻¹), resultando em aumento de 52,5% nos valores da variável dependente (consumo horário de combustível, ponderal) para um incremento de 87,2% nos valores da variável independente (velocidade de deslocamento).

Destaca-se, entretanto, que para ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior a massa de combustível consumida pelo conjunto mecanizado.

Adicionalmente, observou-se, ao comparar os resultados das duas configurações de montagem da linha de plantio que, para velocidades de deslocamento e períodos de tempo idênticos, o conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” consumiu maior massa de combustível que quando operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “A”, indicando, nas condições experimentais, que a configuração equipada com o mecanismo sulcador tipo facão no sistema de deposição de adubo consumiu mais combustível que a equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado. Constatou-se também que os resultados apresentados pelo conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” foram 51,4% e 52,5% maiores que os apresentados pela configuração “A”, para velocidades de deslocamento de 3,72 km h⁻¹ e 6,89 km h⁻¹, respectivamente.

Evidentemente, era esperado que os efeitos da variação da velocidade de deslocamento no consumo horário de combustível, volumétrico e ponderal, expressos em termos percentuais, fossem iguais nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”), fato que foi confirmado pelos resultados deste trabalho.

Masieiro et al. (2010) realizaram trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho energético de um trator agrícola de 132 kW equipado com pneus diagonais em diferentes condições operacionais. Os dados de consumo horário e específico de combustível foram analisados em função de quatro velocidades de deslocamento do trator (4,8 km h⁻¹, 6,5 km h⁻¹, 7,8 km h⁻¹ e 9,4 km h⁻¹) e de diferentes pressões de inflação dos pneus. Os resultados indicaram que o consumo horário médio de combustível

aumentou à medida que se elevou a velocidade de deslocamento do trator, a exemplo do que também foi constatado neste trabalho. Para a menor velocidade ($4,8 \text{ km h}^{-1}$), obteve-se o menor consumo horário médio de combustível ($20,5 \text{ L h}^{-1}$), enquanto na maior velocidade ($9,4 \text{ km h}^{-1}$) se obteve o maior consumo horário médio de combustível ($33,0 \text{ L h}^{-1}$). Nas outras duas velocidades ($6,5 \text{ km h}^{-1}$ e $7,8 \text{ km h}^{-1}$), o consumo médio foi de $24,6 \text{ L h}^{-1}$ e $30,1 \text{ L h}^{-1}$, respectivamente.

Observou-se que os valores obtidos pelos referidos autores para a variável consumo horário de combustível são menores que os deste trabalho, para velocidades de deslocamento equivalentes. Observou-se também que a potência nominal do trator utilizado por Masieiro et al. (2010) era 176,2% maior que a do trator utilizado neste estudo, fato que, por si só, sugere maior consumo horário de combustível para esse trator que é o de maior potência. Entretanto, o que se verificou nos resultados foi o contrário. Uma possível explicação para esse fato pode ser dada com base nas cargas aplicadas aos tratores. Foram verificadas diferenças significativas nessas cargas (impostas aos tratores), que podem justificar os resultados, uma vez que as impostas ao trator utilizado neste trabalho são muito maiores que a imposta ao trator empregado por aqueles autores. Para as condições experimentais deste estudo, o consumo horário de combustível foi medido com a semeadora-adubadora efetivamente em operação, com os mecanismos sulcadores dos tipos disco duplo defasado e facão sulcando o solo. No trabalho realizado pelos referidos autores, a carga aplicada resumia-se exclusivamente à equivalente à resistência ao rolamento oferecido pelo trator.

4.2.4.2. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível sofreu influência da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência da velocidade na variável em estudo mostrou-se significativa para as duas configurações de montagem (“A” e “B”). Isso porque foram

observados decréscimos no consumo específico de combustível causados pelos aumentos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável (consumo específico de combustível) apresentaram relacionamentos positivos com comportamentos dos tipos exponencial para a configuração “A” e linear para a configuração “B”, decrescentes com o aumento da velocidade de deslocamento e coeficientes de determinação (R^2) de 0,7191 e (r^2) de 0,6012, respectivamente. Esses modelos são representados pelas equações 34 e 35.

$$C_{eA} = 10,2256 \cdot 0,8729^{V_{MA}} \quad (34)$$

$$C_{eB} = 10,2873 - 1,1351 \cdot V_{MB} \quad (35)$$

em que:

C_{eA} = consumo específico de combustível, na configuração “A” ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1}$);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h^{-1});

C_{eB} = consumo específico de combustível, na configuração “B” ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1}$);

e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 71,91% da variação ocorrida no consumo específico de combustível pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o obtido para o modelo da configuração “B” mostrou que 60,12% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade do referido conjunto.

Na Figura 23 é apresentado o comportamento da variável consumo específico de combustível em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

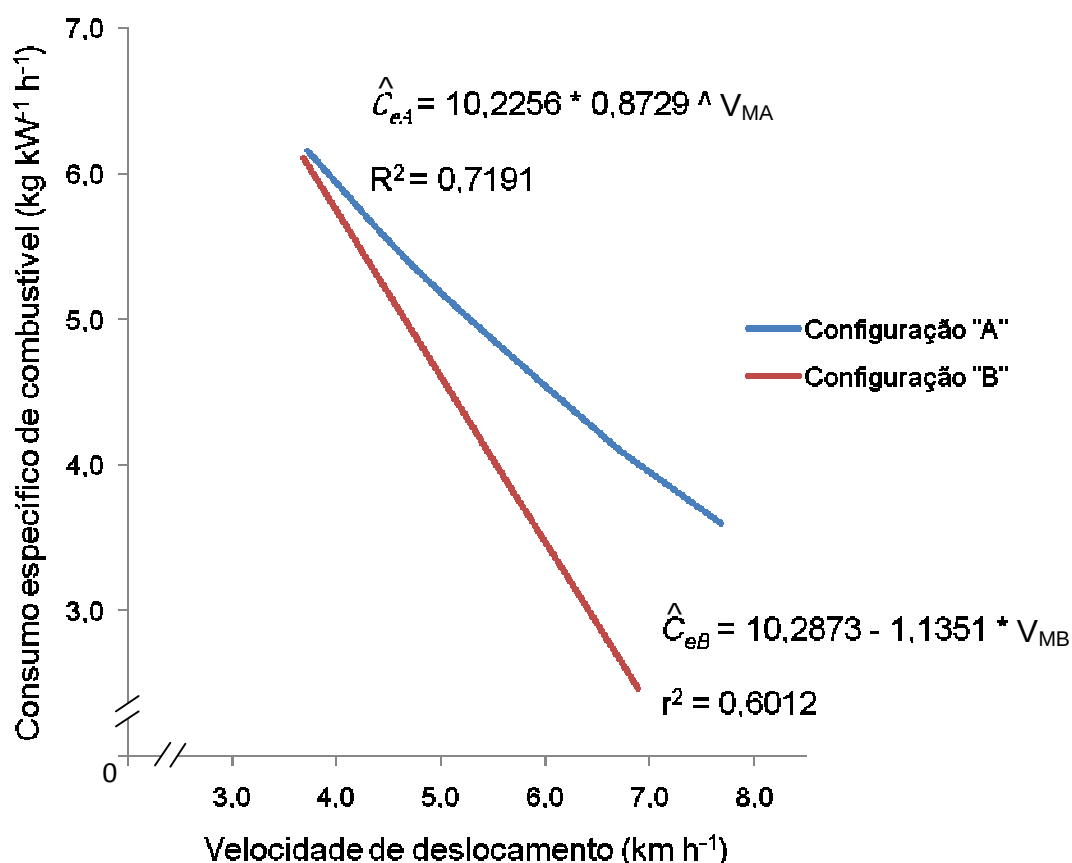


Figura 23 – Estimativa do consumo específico de combustível em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

As curvas apresentadas na Figura 23 e as equações 34 e 35 permitiram confirmar os comportamentos do tipo exponencial e linear das configurações "A" e "B", respectivamente. Permitiram constatar que os incrementos na velocidade de deslocamento provocaram decréscimos proporcionais no consumo específico de combustível do conjunto mecanizado, em ambas as configurações de montagem da linha de plantio.

Por meio dessa figura e das referidas equações foi possível determinar a velocidade de deslocamento que resultou no menor consumo específico de combustível para cada configuração de montagem da linha de plantio.

Observou-se na Figura 23 que, nas velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado avaliadas neste trabalho, os menores valores de consumo específico de combustível, expressos em $\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1}$, foram

obtidos com a linha de plantio da semeadora-adubadora montada na configuração “B”. Expressando os resultados obtidos em termos numéricos e considerando as velocidades de deslocamento avaliadas nos ensaios realizados com essa configuração (“B”), o maior valor de consumo específico de combustível ($6,110 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,68 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi decrescendo linearmente com o aumento na velocidade até atingir seu valor mínimo ($2,467 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$), na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram decréscimos de 59,6% no consumo específico de combustível para acréscimos de 87,2% na velocidade de deslocamento. Nessa configuração (“B”), o decréscimo no consumo específico de combustível ocorreu à taxa de 1,1351 por unidade de velocidade, ou seja, cada aumento de $1,0 \text{ km h}^{-1}$ na velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico de combustível do conjunto mecanizado em $1,1351 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ até essa variável atingir seu valor mínimo, na maior velocidade utilizada nos ensaios realizados com essa configuração ($6,89 \text{ km h}^{-1}$).

Para a configuração “A”, obteve-se comportamento semelhante para a variável em estudo, que decresceu exponencialmente com os incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado até atingir seu valor mínimo. Para essa configuração de montagem da linha de plantio, o maior valor de consumo específico de combustível ($6,167 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$) e o menor valor ($3,600 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$), na maior velocidade ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). Em termos percentuais, pode-se observar que nessa configuração houve decréscimo de 41,6% no consumo específico de combustível para um acréscimo na velocidade de 106,5%.

Cabe destacar, entretanto, com base nesses resultados que, em termos percentuais, a velocidade de deslocamento exerceu maior influência no consumo específico de combustível do conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (59,6%) do que no da configuração “A” (41,6%). Destaca-se também a constatação de que, quanto maior a velocidade de deslocamento, menor o consumo específico de combustível apresentado pelo conjunto mecanizado, em ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

Adicionalmente, observou-se, ao comparar os resultados das duas configurações de montagem da linha de plantio, que, para velocidades de deslocamento idênticas, o conjunto mecanizado operando com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” apresentou menor consumo específico de combustível do que quando operou com a semeadora-adubadora montada na configuração “A”. Para velocidades de deslocamento de $3,72 \text{ km h}^{-1}$ e $6,89 \text{ km h}^{-1}$, os resultados apresentados pela configuração “B” foram 1,7% e 38,5%, respectivamente, menores que os apresentados pela configuração “A”, indicando, para as condições experimentais, que a configuração equipada com o mecanismo sulcador tipo facão no sistema de deposição de adubo, em iguais condições de requerimentos de potência, foi mais eficiente e consumiu menor quantidade de combustível que a equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado.

O fato de a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”) ter apresentado o menor consumo específico de combustível pode estar associado ao maior requerimento de potência apresentado por essa configuração (“B”). Ocorre que a variável em estudo tem sua origem na relação entre duas variáveis: consumo horário de combustível e potência requerida para tração da semeadora-adubadora e, neste trabalho, houve predominância dos valores atribuídos à variável potência que apresentaram taxa de crescimento em função da variação da velocidade maior do que a apresentada pela variável consumo horário de combustível.

Com base nesses resultados, concluiu-se que nas condições experimentais e faixas de velocidades analisadas as velocidades mais elevadas proporcionaram melhor aproveitamento da energia do combustível e, conseqüentemente, maior eficiência energética da operação de semeadura, pois, quanto menor a quantidade de combustível necessária para atender a um mesmo requerimento de potência, mais eficiente deve ser considerada a operação.

Os resultados deste trabalho confirmaram as pesquisas realizadas por Lopes et al. (2003), Silveira (2008), Cortez et al. (2008) e Longui (2011), que encontraram os menores valores de consumo específico de combustível nas maiores velocidades de deslocamento. As pesquisas

realizadas por esses autores revelaram a influência da velocidade sobre a variável em estudo e mostraram que o aumento da velocidade de deslocamento eleva o requerimento de potência e reduz o consumo específico de combustível.

4.2.5. Perfil e área de solo mobilizado

Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os perfis transversais das superfícies naturais e das superfícies internas dos solos mobilizados pelos mecanismos sulcadores tipos disco duplo defasado e facão, respectivamente. Os mecanismos sulcadores foram utilizados no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora e as medidas, tomadas no ponto médio da parcela, em direção perpendicular à de deslocamento do conjunto mecanizado.

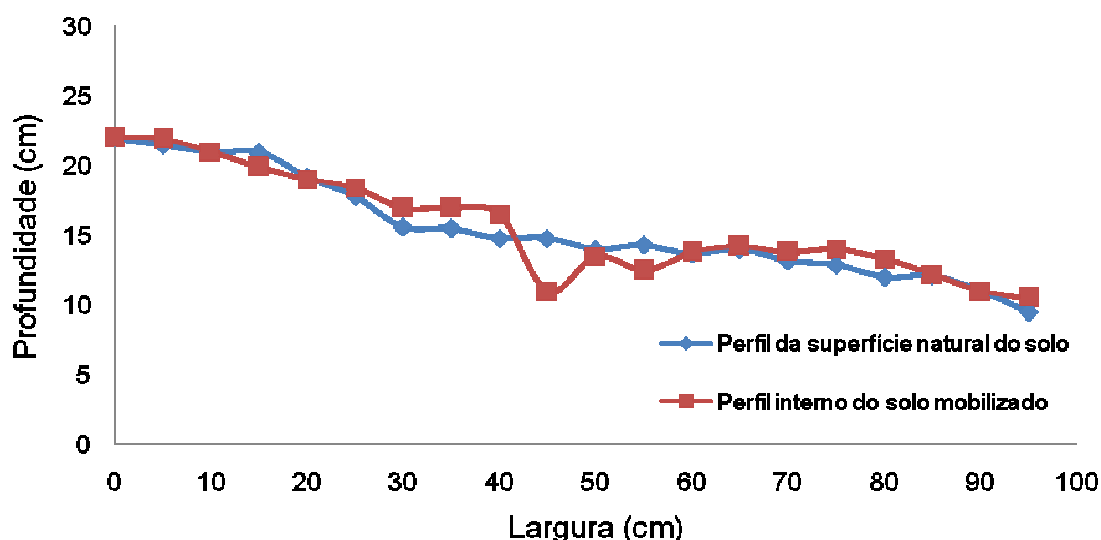


Figura 24 – Perfis transversais da superfície natural e superfície interna do solo mobilizado pelo mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado.

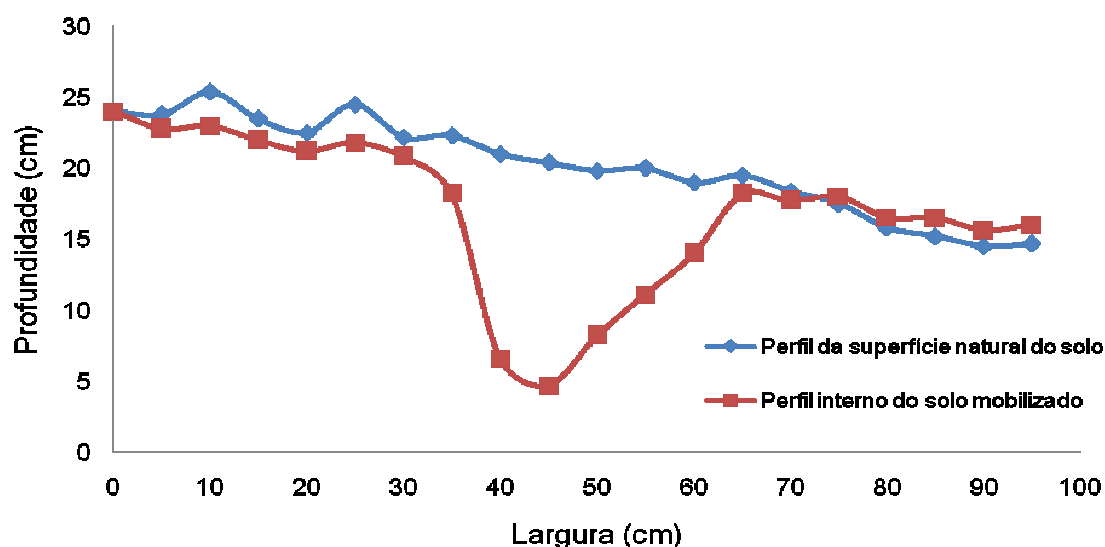


Figura 25 – Perfis transversais da superfície natural e superfície interna do solo mobilizado pelo mecanismo sulcador tipo facão.

Essas figuras ilustram as áreas de solo mobilizado pelo mecanismo sulcador que, por definição, resultam da diferença entre as áreas correspondentes aos perfis da superfície natural e da superfície interna do solo mobilizado.

Nota-se, nas Figuras 24 e 25, que a área de solo mobilizado pelo mecanismo sulcador tipo facão é maior que a mobilizada pelo disco duplo defasado. Esse fato era esperado e pode ser atribuído ao *design* e às características intrínsecas desse tipo de mecanismo sulcador que, quando comparado a outros, tende a atuar em maior profundidade e proporcionar maior mobilização do solo.

O volume de solo mobilizado, por definição, corresponde ao produto entre a área de solo mobilizado (m^2) e o comprimento da unidade experimental (m). Nesse trabalho, o comprimento foi igual a 20 m em todas as unidades, e o volume de solo mobilizado foi expresso em metros cúbicos.

Sabendo que o comprimento da unidade experimental é constante e a área do solo mobilizado é variável em função da profundidade e largura do sulco feito pelo mecanismo sulcador, pode-se inferir que, nas condições estabelecidas neste trabalho, eventuais variações na área de solo mobilizado causam alterações diretamente proporcionais no volume de solo

mobilizado. Pode-se inferir também, nas mesmas condições, que essas variáveis, área e volume de solo mobilizado apresentam comportamentos semelhantes quando analisadas em função das velocidades de deslocamento e tipos de mecanismos sulcadores utilizados no sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora.

4.2.6. Volume de solo mobilizado

A velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado exerceu influência sobre o volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora, nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência da velocidade de deslocamento sobre a variável em estudo mostrou-se significativa nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”). O volume de solo mobilizado aumentou em decorrência de incremento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável apresentaram relacionamento positivo, comportamento não linear, tipo potencial, crescente com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e coeficientes de determinação (R^2) de 0,9953 e 0,9422 nas configurações de montagem das linhas de plantio “A” e “B”, respectivamente. As equações 36 e 37 representam esses modelos.

$$V_{MMA} = 0,0082 \cdot V_{MA}^{1,53202} \quad (36)$$

$$V_{MMB} = 0,0195 \cdot V_{MB}^{1,77664} \quad (37)$$

em que:

V_{MMA} = volume médio de solo mobilizado, na configuração “A” (m^3);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” ($km\ h^{-1}$);

V_{MMB} = volume médio de solo mobilizado, na configuração “B” (m^3); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” ($km\ h^{-1}$).

O coeficiente de determinação (R^2) do modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 99,53% da variação ocorrida no volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada

com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o obtido para o modelo da configuração “B”, quando a semeadora-adubadora estava equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, mostrou que 94,22% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 26 é apresentado o comportamento da variável volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

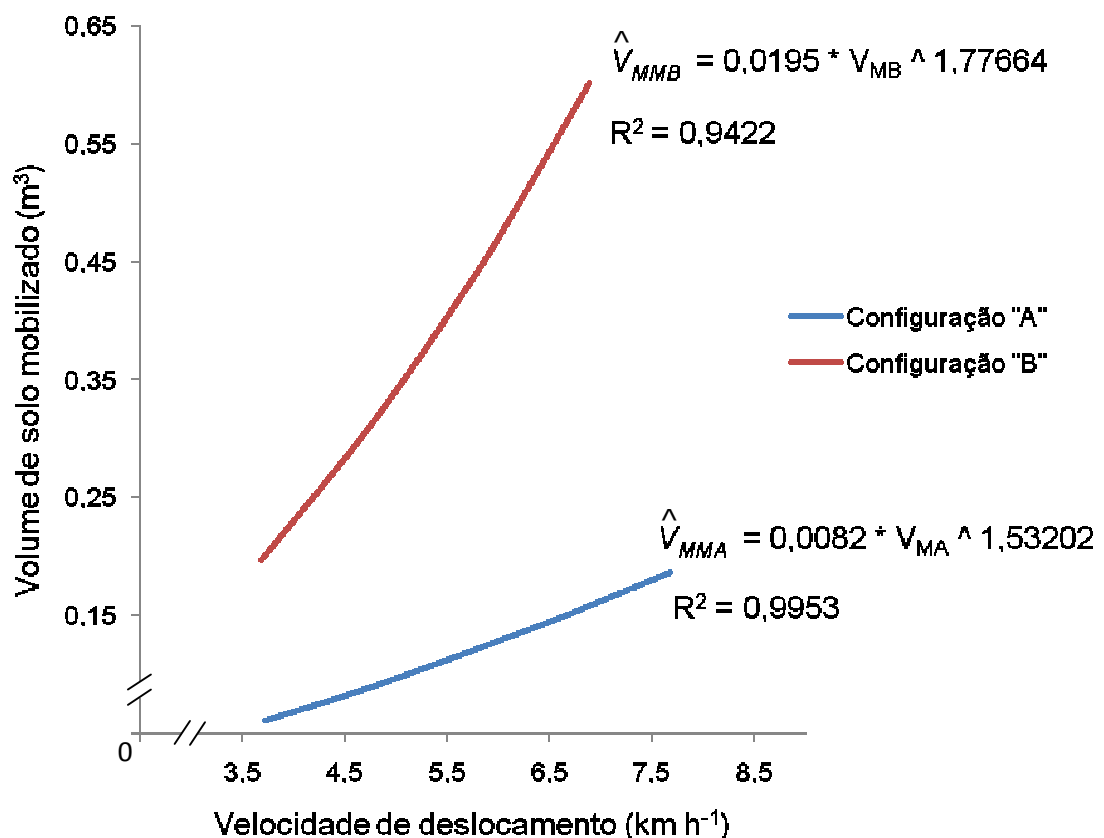


Figura 26 – Estimativa do volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

As curvas apresentadas na Figura 26 e as equações 36 e 37 permitiram confirmar os comportamentos não lineares, do tipo potencial para as configurações “A” e “B”. Permitiram constatar também que houve incrementos diferenciados no volume de solo mobilizado para cada uma das configurações de montagem de linha de plantio, que foram proporcionais aos acréscimos havidos nas respectivas velocidades de deslocamento.

Por meio dessa figura e das referidas equações, pode-se determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o maior volume de solo mobilizado para cada configuração de montagem da linha de plantio.

Ao comparar os resultados deste trabalho, observou-se que o incremento no volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração “B” foi maior que o incremento no volume mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração “A”, para variações iguais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Em decorrência desse fato, constatou-se que, para as velocidades de deslocamento avaliadas, os maiores valores de volume de solo mobilizado foram apresentados pela semeadora-adubadora montada na configuração “B”. Tal resultado pode ser justificado com base nas características construtivas do mecanismo sulcador tipo facão que equipou o sistema de deposição de adubo da semeadora-adubadora montada nessa configuração (“B”), que o torna capaz de atuar em maior profundidade e proporcionar maior mobilização do solo, quando comparado com outros mecanismos sulcadores com características construtivas diferentes, entre os quais se pode citar o disco duplo defasado.

Expressando os resultados obtidos em termos numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com a configuração “A”, notou-se que o menor valor da variável volume de solo mobilizado ($0,0615 \text{ m}^3$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi aumentando potencialmente com o incremento na velocidade até atingir seu valor máximo ($0,1867 \text{ m}^3$), na maior velocidade de deslocamento ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram incrementos de 203,6% no volume de solo mobilizado para acréscimos na velocidade de 106,5%.

A configuração “B” apresentou comportamento semelhante ao observado na configuração “A”, com o menor valor da variável volume de solo mobilizado ($0,1977 \text{ m}^3$), obtido na menor velocidade ($3,68 \text{ km h}^{-1}$), e o maior valor ($0,6024 \text{ m}^3$) na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$). Isso resultou em variação percentual de 204,7% no volume de solo mobilizado para uma variação de 87,2% para mais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Cabe destacar, entretanto, que, para ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento, foi constatado que, quanto maior a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, maior o volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora.

Com base nas condições operacionais, nos modelos matemáticos e nos resultados deste trabalho, pode-se constatar que, em termos percentuais, a velocidade de deslocamento exerceu maior influência no volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, que apresentou percentual de variação de 204,7%. O percentual de variação apresentado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado foi de 203,6%.

Para velocidades de deslocamento de $3,72 \text{ km h}^{-1}$ e $6,89 \text{ km h}^{-1}$, a configuração “B” apresentou resultados para a variável volume de solo mobilizado que eram 227,8% e 281,1%, respectivamente, maiores que os apresentados pela configuração “A”, confirmando a observação feita sobre a configuração que apresentou os maiores incrementos na variável em estudo (“B”).

Já para velocidades de $4,0 \text{ km h}^{-1}$, $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$ os incrementos apresentados pela configuração “B”, quando comparados com os apresentados pela configuração “A”, foram 233,7%, 252,4% e 268,5%, respectivamente, maiores.

Estudos conduzidos por Cepik et al. (2005) com o objetivo de determinar a força de tração e o volume de solo mobilizado, além da patinagem do trator, em diferentes estados de consistência do solo, profundidades de semeadura e velocidades, revelaram que o volume de solo

mobilizado aumentou 12% quando a velocidade de semeadura passou de 4,5 km h⁻¹ para 6,5 km h⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes et al. (2007), que, ao avaliarem o requerimento energético de um implemento conjugado de preparo do solo, verificaram aumento no volume de solo mobilizado com o incremento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

4.2.7. Volume específico de solo mobilizado

O volume específico de solo mobilizado pela semeadora-adubadora sofreu influência da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência que a velocidade de deslocamento exerceu sobre a variável em estudo mostrou-se significativa para as duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”). O volume específico de solo mobilizado aumentou em decorrência de incremento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável apresentaram relacionamento positivo, comportamento não linear, tipo potencial, crescente com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e coeficiente de determinação (R^2) de 0,9981 e 0,9752 para as configurações de montagem das linhas de plantio “A” e “B”, respectivamente. As equações 38 e 39 representam esses modelos.

$$V_{EMA} = 0,0001091 \cdot V_{MA}^{2,55615} \quad (38)$$

$$V_{EMB} = 0,0002726 \cdot V_{MB}^{2,7741} \quad (39)$$

em que:

V_{EMA} = volume específico médio de solo mobilizado, na configuração “A” (m³ s⁻¹);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h⁻¹);

V_{EMB} = volume específico médio de solo mobilizado, na configuração “B” (m³ s⁻¹); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido do modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 99,81% da variação ocorrida no volume específico de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o obtido para o modelo da configuração “B”, quando a semeadora-adubadora estava equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, mostrou que 97,52% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 27 é apresentado o comportamento da variável volume específico de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio.

As curvas apresentadas na Figura 27 e as equações 40 e 41 permitiram confirmar os comportamentos não lineares, do tipo potencial para as configurações “A” e “B”. Permitiram constatar também que houve incrementos diferenciados para a variável volume específico de solo mobilizado em cada uma das configurações de montagem de linha de plantio, que foram proporcionais aos acréscimos havidos na velocidade de deslocamento.

Por meio dessa figura e das referidas equações, pode-se determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o maior volume específico de solo mobilizado para cada configuração de montagem da linha de plantio.

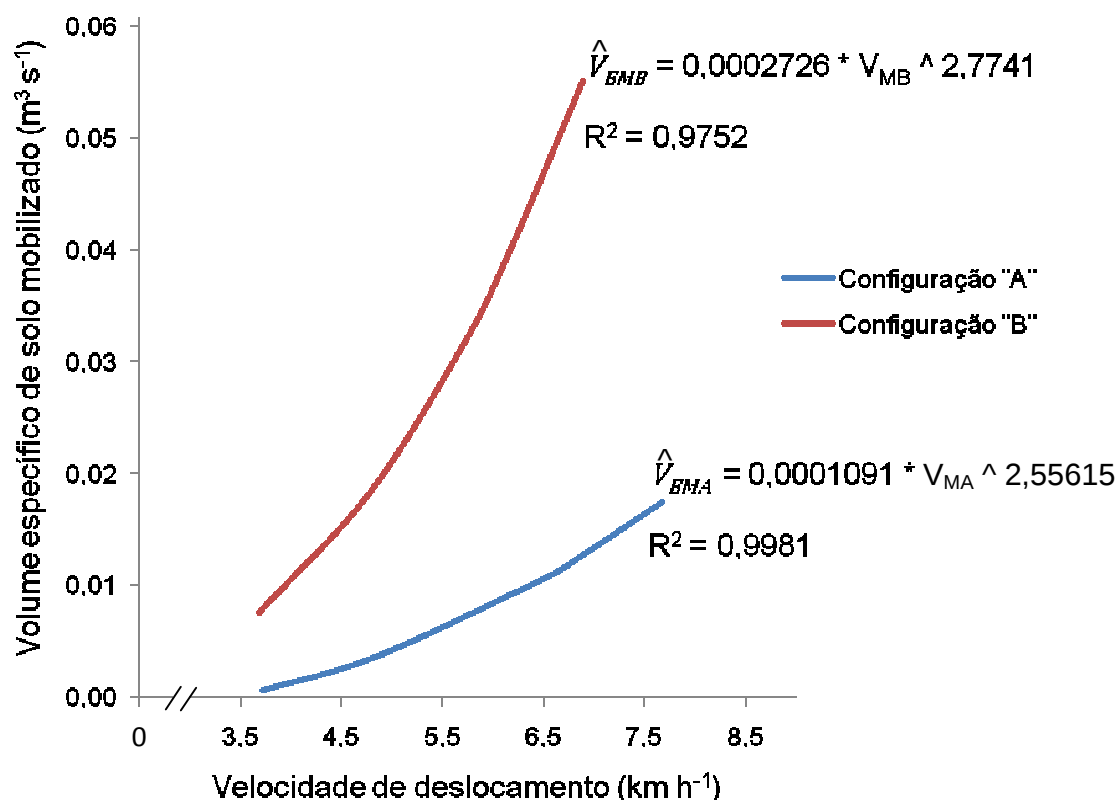


Figura 27 – Estimativa do volume específico de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

Ao comparar os resultados deste trabalho, observou-se que incrementos iguais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado resultaram em maiores aumentos no volume específico de solo mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração "B" e que, para as velocidades avaliadas, os maiores valores da variável em estudo foram alcançados com a semeadora-adubadora montada nessa configuração ("B"). Esse resultado era esperado e decorreu do maior volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração "B"), que, neste trabalho, foi maior que o mobilizado pelo disco duplo defasado (configuração "A").

Expressando os resultados obtidos em termos numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com a configuração "A", notou-se que o menor valor da variável volume específico de solo mobilizado ($0,0031 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) foi obtido na menor

velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi aumentando potencialmente com o incremento na velocidade até atingir seu valor máximo ($0,0200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), na maior velocidade de deslocamento ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram incrementos de 545,2% no volume específico de solo mobilizado para acréscimos na velocidade de 106,5%.

A configuração “B” apresentou comportamento semelhante ao observado na configuração “A”, com o menor valor da variável volume específico de solo mobilizado ($0,0101 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) obtido na menor velocidade ($3,68 \text{ km h}^{-1}$) e o maior valor ($0,0576 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$). Isso resultou em variação percentual de 470,3% para mais no volume específico de solo mobilizado para um incremento de 87,2% na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Cabe destacar, entretanto, que para ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento foi constatado que, quanto maior a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, maior o volume específico de solo mobilizado pela semeadora-adubadora.

Com base nas condições operacionais, nos modelos matemáticos e nos resultados obtidos neste trabalho pode-se constatar que, em termos percentuais, a velocidade de deslocamento exerceu maior influência no volume específico de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador disco duplo defasado (545,2%) do que no volume específico de solo mobilizado com o mecanismo sulcador tipo facão (470,3%). Uma possível explicação para esse fato é a maior amplitude da faixa de velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora montada na configuração “A”, cuja diferença entre a maior e a menor velocidade é de 106,5%, contra 87,2% na configuração “B”. Como o comprimento da unidade experimental é constante, maiores velocidades resultam de menores tempos consumidos pelo conjunto mecanizado para percorrer a extensão da referida unidade.

Quando, no entanto, foram comparados os resultados com a semeadora-adubadora operando nas velocidades de $3,72 \text{ km h}^{-1}$ e $6,89 \text{ km h}^{-1}$, observou-se que os maiores valores de volume específico de

solo mobilizado foram obtidos com a configuração “B”. Em termos percentuais, os aumentos observados foram de 232,7% e 280,5%, respectivamente, demonstrando que, para essas velocidades, a semeadora-adubadora montada na configuração “B” proporcionou incrementos maiores no volume específico de solo mobilizado que a configuração “A”. Já para velocidades de 4,0 km h⁻¹, 5,0 km h⁻¹ e 6,0 km h⁻¹, a utilização da semeadora-adubadora montada na configuração “B” apresentou incrementos no volume específico de solo mobilizado de 238,0%, 254,8% e 269,2%, respectivamente, quando comparado com o volume mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração “A”.

4.2.8. Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado

O consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado sofreu influência da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado quando a semeadora-adubadora operou nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência que a velocidade de deslocamento exerceu sobre a variável em estudo mostrou-se significativa para as duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”). O consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado decresceu em decorrência de incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável apresentaram relacionamento positivo, comportamento não linear, tipo potencial, decrescente com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e coeficiente de determinação (R^2) de 0,9381 e 0,8598 para as configurações “A” e “B”, respectivamente. As equações 40 e 41 representam esses modelos.

$$C_{eVSMA} = 1977,9260 \cdot V_{MA}^{-2,25855} \quad (40)$$

$$C_{eVSMB} = 1756,3052 \cdot V_{MB}^{-3,0887} \quad (41)$$

em que:

C_{eVSMA} = consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, na configuração “A” ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1} \text{m}^{-3}$);

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h^{-1});

C_{eVSMB} = consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, na configuração “B” ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1} \text{m}^{-3}$); e

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 93,81% da variação ocorrida no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo ajustado para a configuração “B”, com a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, mostrou que 85,98% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 28 é apresentado o comportamento da variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

Na Figura 28 e nas equações 40 e 41 foram constatadas variações no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em decorrência de incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Essas variações apresentaram comportamentos não lineares, do tipo potencial, e mostraram que houve decréscimos diferenciados no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado para cada uma das configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) que, no entanto, foram proporcionais aos acréscimos na velocidade de deslocamento.

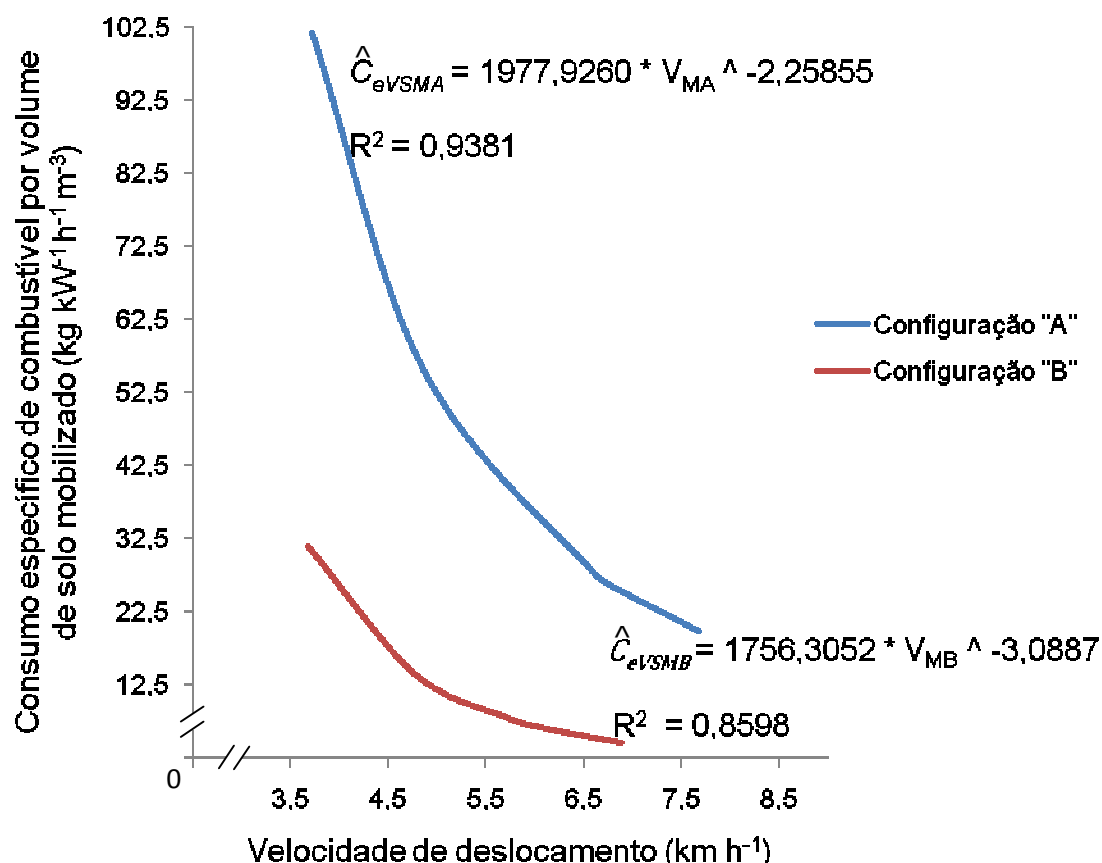


Figura 28 – Estimativa do consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

Por meio dessa figura e das referidas equações, pode-se determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o menor consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado para as duas configurações de montagem da linha de plantio ("A" e "B").

Ao comparar os resultados deste trabalho, observou-se que incrementos iguais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado resultaram em maiores decréscimos no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração "B" e que, para as velocidades avaliadas, os menores valores da variável em estudo foram alcançados com a semeadora-adubadora montada nessa configuração ("B").

Esse resultado era esperado e pode ser explicado pelos resultados alcançados, neste trabalho, para as duas variáveis que deram origem à variável em estudo: consumo específico de combustível e volume de solo mobilizado. Os valores obtidos a partir dos modelos ajustados para essas variáveis mostraram que, para velocidades iguais, a semeadora-adubadora montada na configuração “B” apresentou menor consumo específico de combustível e maior volume de solo mobilizado que a semeadora-adubadora montada na configuração “A”. Com base nessas informações e nos resultados obtidos a partir dos modelos ajustados para a variável em estudo, nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) inferiu-se que, para velocidades iguais, a configuração “B” é a que apresenta a melhor relação entre as duas variáveis, ou seja, é a que apresenta o menor consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado. Inferiu-se também, com base nos resultados, que a configuração “B” é a que apresenta o melhor aproveitamento energético e, portanto, a mais eficiente, nas condições experimentais.

Expressando os resultados numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com a configuração “A”, notou-se que o maior valor da variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado ($101,7678 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-3}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi decrescendo potencialmente com o incremento na velocidade até atingir seu valor mínimo ($19,7960 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-3}$), na maior velocidade de deslocamento ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram reduções de 80,5% no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado para acréscimos na velocidade de 106,5%.

A configuração “B” apresentou comportamento semelhante ao observado na configuração “A”, com o maior valor da variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado ($31,3954 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-3}$) obtido na menor velocidade ($3,68 \text{ km h}^{-1}$) e, o menor ($4,5247 \text{ kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-3}$), na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$). Isso resultou em variação percentual de 85,6% para menos no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado para uma

variação de 87,2% para mais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Cabe destacar, entretanto, que em ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento, constatou-se que, quanto maior a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, menor o consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora.

Com base nas condições operacionais, nos modelos matemáticos e nos resultados deste trabalho, pôde-se constatar que, em termos percentuais, a velocidade de deslocamento exerceu maior influência no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”) do que no obtido com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”).

Essa constatação pode ser demonstrada por meio da comparação dos resultados obtidos com a semeadora-adubadora operando nas velocidades de $3,72 \text{ km h}^{-1}$ e $6,89 \text{ km h}^{-1}$, que mostraram os menores valores da variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado para a configuração “B”. Em termos percentuais, as reduções observadas foram de 70,2% e 82,1%, respectivamente, demonstrando que, para essas velocidades, a semeadora-adubadora montada na configuração “B” proporcionou reduções maiores nos valores da variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado que a configuração “A”. Já para velocidades de $4,0 \text{ km h}^{-1}$, $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$ a utilização da semeadora-adubadora montada na configuração “B” apresentou reduções no consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado de 71,9%, 76,7% e 79,9%, respectivamente, quando comparado com o consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração “A”.

Ao avaliar a relação consumo específico de combustível por área de solo mobilizado, Silveira et al. (2013) observaram que os valores da variável decresceram com o aumento da velocidade e os maiores valores foram encontrados na menor velocidade de deslocamento. Os referidos autores comentaram que o decréscimo observado no consumo específico de

combustível por área de solo mobilizado é reflexo do aumento na área mobilizada de solo, ocasionada pelo incremento na velocidade de deslocamento.

Com base no conhecimento de que a variável volume de solo mobilizado é resultante do produto da área de solo mobilizada pelo comprimento da unidade experimental (equação 18); que neste trabalho o referido comprimento é constante para todas as unidades experimentais; e que foi observado aumento no volume de solo mobilizado devido a incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, inferiu-se que o comportamento da variável avaliada por Silveira et al. (2013) é semelhante ao obtido neste trabalho para a variável consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado.

4.2.9. Energia requerida por volume de solo mobilizado

A velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado influenciou na variável energia requerida por volume de solo mobilizado, quando a semeadora-adubadora operou nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

A análise de regressão realizada com o propósito de determinar a influência da velocidade sobre a variável em estudo mostrou-se significativa para as duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”). A variável energia requerida por volume de solo mobilizado decresceu em decorrência de incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Os modelos de regressão ajustados para essa variável (energia requerida por volume de solo mobilizado) apresentaram relacionamento positivo, comportamento não linear, tipo potencial, decrescente com o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e coeficiente de determinação (R^2) de 0,6996 e 0,5230, nas configurações “A” e “B”, respectivamente. As equações 42 e 43 representam esses modelos.

$$E_{VMA} = 4056,1126 \cdot V_{MA}^{-1,13652} \quad (42)$$

$$E_{VMB} = 1304,6680 \times V_{MB}^{-0,83751} \quad (43)$$

em que:

E_{VMA} = energia requerida por volume de solo mobilizado, na configuração “A” (kJ m^{-3});

V_{MA} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “A” (km h^{-1}); e

E_{VMB} = energia requerida por volume de solo mobilizado, na configuração “B” (kJ m^{-3});

V_{MB} = velocidade média de deslocamento do conjunto mecanizado, com a semeadora-adubadora montada na configuração “B” (km h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) do modelo de regressão ajustado para a configuração “A” permitiu observar que 69,96% da variação ocorrida na energia requerida por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Já o coeficiente de determinação (R^2) do modelo ajustado para a configuração “B”, com a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão, mostrou que 52,30% da variação sofrida pela variável em estudo também pode ser explicada pela alteração na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Na Figura 29 é apresentado o comportamento da variável energia requerida por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado com a semeadora-adubadora operando nas duas configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”).

Na Figura 29 e nas equações 42 e 43 foram constatadas variações na energia requerida por volume de solo mobilizado em decorrência de incrementos na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Essas variações apresentaram comportamentos não lineares, do tipo potencial, e mostraram que houve decréscimos diferenciados na energia requerida por volume de solo mobilizado para as configurações de montagem de linha de plantio (“A” e “B”), que, no entanto, foram proporcionais aos acréscimos na velocidade de deslocamento.

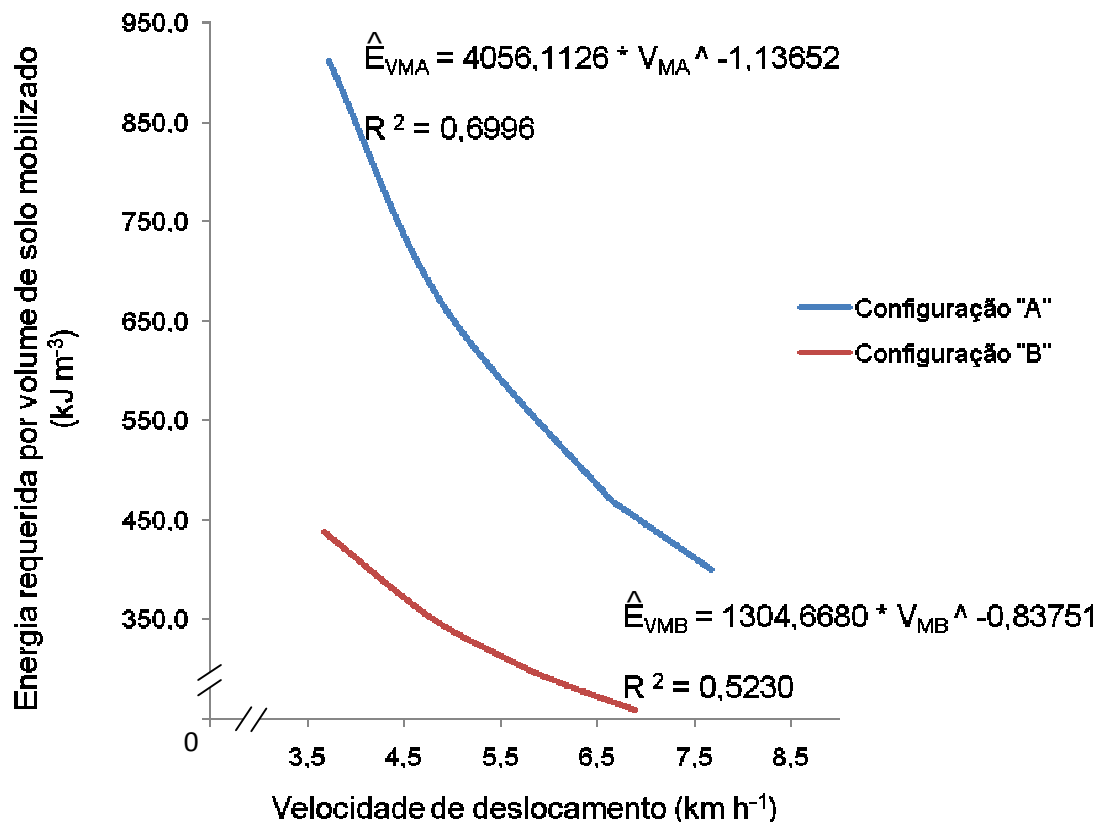


Figura 29 – Estimativa da energia requerida para tração da semeadora-adubadora por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado e das respectivas configurações de montagem da linha de plantio.

Por meio dessa figura e das referidas equações, pode-se determinar a velocidade de deslocamento que apresentou o menor requerimento de energia por volume de solo mobilizado, nas duas configurações de montagem da linha de plantio ("A" e "B").

Ao comparar os resultados deste trabalho, observou-se que incrementos iguais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado resultaram em maiores taxas de decréscimos nos valores da energia requerida por volume de solo mobilizado pela semeadora-adubadora montada na configuração "A". Entretanto, nas velocidades avaliadas os menores valores da variável em estudo foram alcançados com a semeadora-adubadora montada na configuração "B".

Expressando os resultados numéricos e considerando as velocidades de deslocamento utilizadas nos ensaios realizados com a configuração “A”, notou-se que o maior valor da variável energia requerida por volume de solo mobilizado ($911,3318 \text{ kJ m}^{-3}$) foi obtido na menor velocidade de deslocamento ($3,72 \text{ km h}^{-1}$), o qual foi decrescendo potencialmente com o incremento na velocidade até atingir seu valor mínimo ($399,8336 \text{ kJ m}^{-3}$), na maior velocidade de deslocamento ($7,68 \text{ km h}^{-1}$). As diferenças entre os valores máximos e mínimos representaram reduções de 56,1% na energia requerida por volume de solo mobilizado, para acréscimos na velocidade de 106,5%.

A configuração “B” apresentou comportamento semelhante ao observado na configuração “A”, com o maior valor da variável energia requerida por volume de solo mobilizado ($438,1238 \text{ kJ m}^{-3}$), obtido na menor velocidade ($3,68 \text{ km h}^{-1}$). O menor valor ($259,1093 \text{ kJ m}^{-3}$) na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$) resultou em variação percentual de 40,9% para menos na energia requerida por volume de solo mobilizado, para uma variação de 87,2% para mais na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

Cabe destacar, entretanto, que em ambas as configurações de montagem da linha de plantio (“A” e “B”) e velocidades de deslocamento utilizadas no experimento, quanto maior a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, menor a variável energia requerida por volume de solo mobilizado.

Com base nas condições operacionais, nos modelos matemáticos e nos resultados deste trabalho, pode-se constatar que, em termos percentuais, a velocidade de deslocamento exerceu maior influência na energia requerida por volume de solo mobilizado quando a semeadora-adubadora estava equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”), que apresentou redução de 56,1%. Quando estava equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”), reduziu 40,9%. No entanto, ao comparar os resultados obtidos com a semeadora-adubadora operando nas velocidades de $3,72 \text{ km h}^{-1}$ e $6,89 \text{ km h}^{-1}$, observou-se que os menores valores da variável energia requerida por volume de solo mobilizado foram os apresentados pela

configuração “B”. Em termos percentuais, as reduções observadas foram de 52,4% e 42,7%, respectivamente. Tais resultados evidenciaram que, para essas velocidades, a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”) proporcionou menores valores para a variável energia requerida por volume de solo mobilizado e, conseqüentemente, melhor rendimento energético. Na maior velocidade de deslocamento ($6,89 \text{ km h}^{-1}$), proporcionou economia de 193,2 kJ de energia para cada metro cúbico de solo mobilizado, quando comparada a mesma semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”).

Destaca-se, porém, que a diferença entre os valores, que inicialmente era de 52,4%, reduziu-se para 42,7% com o aumento da velocidade, mostrando que a configuração “A” foi mais influenciada pela velocidade que a configuração “B”. Já para velocidades de $4,0 \text{ km h}^{-1}$, $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$ a utilização da semeadora-adubadora montada na configuração “B”, em comparação com a configuração “A”, apresentou reduções na energia requerida por volume de solo mobilizado de 51,3%, 48,0% e 45,0%, respectivamente.

Resultado semelhante ao deste trabalho, no que concerne à influência da velocidade de deslocamento sobre a variável em estudo, foi encontrado por Fernandes et al. (2007), ao avaliarem a demanda energética em uma operação conjugada de preparo do solo, em três velocidades de deslocamento e quatro profundidades de penetração. Esses autores constataram interação significativa da velocidade e da profundidade sobre a variável energia requerida por volume de solo mobilizado, indicando que, nas condições experimentais, essa variável foi influenciada pela velocidade de deslocamento. O resultado obtido por eles ratifica o deste trabalho.

Ao avaliar a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora para plantio direto, utilizada na implantação da cultura da soja, em quatro velocidades de deslocamento e três condições de cobertura do solo, Bortolotto et al. (2006) também obtiveram, para a demanda energética, valores médios crescentes com o incremento da velocidade de deslocamento. Os valores médios obtidos para a demanda energética foram

de 14,59 kW h ha⁻¹, 14,73 kW h ha⁻¹, 14,90 kW h ha⁻¹ e 14,99 kW h ha⁻¹ para velocidades de 4,7 km h⁻¹, 5,4 km h⁻¹, 6,5 km h⁻¹ e 7,2 km h⁻¹.

Já Coelho (2011), ao avaliar a demanda energética de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de preparo do solo na cultura do milho, observou que o sistema de plantio direto foi o que apresentou a menor demanda energética entre os sistemas estudados e que nesse sistema (plantio direto) a velocidade não influenciou a demanda energética. Esse autor encontrou valores médios de 57,00 MJ ha⁻¹, 54,45 MJ ha⁻¹ e 58,12 MJ ha⁻¹ para a demanda energética quando trabalhou nas marchas A2, A3 e B1, respectivamente, nas rotações de 2.200 rpm, 1.600 rpm e 1.900 rpm.

4.3. Avaliação do modelo matemático proposto pela ASABE para predição da força requerida para tração da semeadora-adubadora

Os valores dos parâmetros relacionados à máquina e à textura do solo que compunham a equação do modelo matemático proposto pela ASABE (2011b), para predição da força requerida para tração da semeadora-adubadora, foram selecionados no Quadro 3, a partir de dados transcritos da Tabela 1 da norma ASAE D497.7MAR2011.

O parâmetro relacionado à textura do solo recebeu o valor 1, indicativo de solo com textura fina, compatível com o solo da área experimental que foi classificado como muito argiloso.

Para o parâmetro relacionado ao número de órgãos ativos da máquina (W), também foi atribuído o valor 1, porque durante os ensaios a semeadora-adubadora operou com esse número de linha de plantio.

Já para o parâmetro relacionado à profundidade do sulco (T) novamente se atribuiu o valor 1, porque esse é o valor recomendado pela referida norma técnica (ASABE, 2011b) para sulcadores menores e, ou, utilizados por semeadora.

A equação matemática representativa do modelo proposto pela ASABE (2011b), para predição de força requerida para tração de implementos agrícolas, é do tipo quadrática, crescente e variável em função da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

No caso da semeadora-adubadora para plantio direto, essa equação apresentou valor constante, sugerindo independência entre as variáveis, ou seja, a força requerida para tração da semeadora-adubadora não sofreu influência da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Esse fato foi constatado ao aplicar no modelo matemático proposto pela ASABE (2011b) os valores obtidos no Quadro 1. O resultado indicou um valor constante de 3.400 N ou 3,400 kN para a força requerida para tração da semeadora-adubadora, nas duas configurações de montagem da linha de plantio e nas diferentes velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado.

A norma prevê um intervalo de variação de mais ou menos 35% nesse valor, como forma de compensar eventuais deficiências relacionadas à máquina e, ou, ao solo, não previstas no modelo. Infere-se, portanto, que o valor inicialmente obtido é médio. Com base nessa informação e nas condições experimentais, pode-se inferir também que a norma aceitará como corretos e dentro do esperado todos os valores atribuídos à variável compreendidos no intervalo de 2,21 kN a 4,59 kN.

Ao comparar o modelo proposto pela ASABE (2011b) com os obtidos experimentalmente para as configurações “A” e “B”, foram observadas semelhanças nos comportamentos daqueles que foram representados por equações de reta constituídas por uma constante, indicando que a variável força requerida para tração da semeadora-adubadora não foi influenciada pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, como ocorrido no modelo da ASABE (2011b) e no da configuração “A” deste trabalho.

Os valores obtidos para a variável em estudo a partir dos modelos em análise mostraram-se idênticos. O valor estimado a partir do modelo proposto pela ASABE (2011b) foi de 3,400 kN, e o valor médio dos dados obtidos experimentalmente para essa variável com a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”) foi de 3,432 kN.

O modelo proposto pela ASABE (2011b) não foi comparado ao modelo obtido a partir de dados experimentais para a semeadora-adubadora equipada com o mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”), porque

no primeiro as variáveis força requerida para tração da semeadora-adubadora e velocidade de deslocamento são independentes e, no segundo, não, uma vez que foi observado relacionamento positivo entre as variáveis com comportamento linear crescente. Essas diferenças são suficientes para impedir a comparação dos modelos.

Santos (2010), ao estudar o desempenho de tratores agrícolas em operações que demandam força de tração, concluiu, contudo, que a relação entre velocidade de deslocamento e força requerida para tração de semeadora-adubadora é linear, corroborando o resultado deste trabalho para a configuração “B”.

5. CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu concluir que a semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo facão (configuração “B”) foi mais eficiente que a semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”), pois, para velocidades de deslocamento iguais, demandou menos energia para mobilizar o mesmo volume de solo.

Os melhores rendimentos energéticos foram obtidos nas maiores velocidades. A variável energia requerida por volume de solo mobilizado decresceu com o aumento da velocidade de deslocamento.

O modelo proposto pela ASABE (2011) para predição da força de tração apresentou comportamento semelhante ao obtido experimentalmente para a semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador tipo disco duplo defasado (configuração “A”). Os resultados indicaram que o modelo é capaz de fornecer informações úteis para a estimativa da força requerida para tração de semeadora-adubadora equipada com linhas de plantio semelhantes à dessa configuração “A”.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

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**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 3, p. 768-776, 2006.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para semear. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, RS, n. 2, p. 10-11, 2001a.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto. **Informe de Pesquisa**, Londrina, PR, IAPAR, n. 137, 2001b. 18 p.

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Soil cone penetrometer. **ASABE Standards 2009**. St. Joseph, Michigan, 2009. 3 p. (ASAE S313.3FEB1999 (R2009)).

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Agricultural machinery management. **ASABE Standards 2011**. St. Joseph, Michigan, 2011a. 7 p. (ASAE EP496.3FEB2006 (R2011)).

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Agricultural machinery management data. **ASABE Standards 2011**. St. Joseph, Michigan, 2011b. 9 p. (ASAE D497.7MAR2011).

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Terminology and definition for agricultural tillage implements. **ASAE Standards 2004**. St. Joseph, Michigan. 2004. p. 271-282 (ASAE S414.1FEB2004).

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. 1. ed. São Paulo: Manole Editora, 1987. 307 p.

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

BEUTLER, J. F. **Parâmetro de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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

BOLLER, W.; GAMERO, C. A. Estimativas dos custos econômicos e energéticos de sistemas de preparo e de manejo do solo para a cultura do feijão. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 12, n. 2, p. 26-38, 1998.

BONINI, A. K.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D.; SOUZA, R. F.; TAVARES, C. Atributos físicos e requerimentos de potência de uma semeadora-adubadora em um latossolo sob estado de compactação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 28, n.1, 2008.

BORDIGNON, J. **Projeto, construção e validação de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BORTOLOTO, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLLOTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

BRANQUINHO, K. B.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; BORSATTO, E. A. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura da cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 2, p. 374-380, 2004.

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

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio, PR.** Londrina, PR: IAPAR, 2000. 14 p. (Boletim técnico).

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. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CEPIK, C. T. C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de deposição de fertilizante.** 2006. 104 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, 2005.

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

COELHO, H. **Demanda energética de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de manejo do solo para a cultura do milho.** 2011. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação.** Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 551-570.

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, SP, 1998.

CONTE, O. Máquinas e qualidade de semeadura em integração lavoura-pecuária. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Curitiba, PR, v. 6, n. 2, 2011.

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

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C. Efeito residual do preparo do solo e velocidade de deslocamento na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 9, n. 3, p. 357-362, 2008.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A. Avaliação de uma semeadora-adubadora em plantio direto para a cultura da soja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 268-276, 2005.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 10, n. 14, 2002.

DELMOND, J. G. **Desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2009.

DLG. **Manual do usuário**: penetrômetro georreferenciado PNT-2000/motor. Disponível em: <<http://www.dlg.com.br/>>. Acesso em: 9 jul. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FABRIZZI, K. P.; GARCÍA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. Soil water dynamics, physical properties and corn wheat response to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 57-69, 2005.

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, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 1262-1271.

FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SATTLER, A. **Efeito de mecanismos sulcadores de solo em semeadoras para plantio direto em pequenas unidades produtivas**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, n. 55, 2008. 13 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

FERNANDES, H. C.; MION, R. L.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N.; MODOLO, A. J. Avaliação da demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 54, n. 312, p. 133-139, 2007.

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

FERNANDES, M. M.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. Delineamento semidetalhado de solos empregando aerofotos não convencionais na sub-bacia palmital – Rio Turvo Sujo, MG. **Geonomos: Revista de Geociências**, Minas Gerais, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2007.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FLORES, J. P. C. **Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo**. 2008. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

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

FREITAS, V. H. Plantio direto nas pequenas propriedades de Santa Catarina: como viabilizá-lo. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa, PR: IAPAR, 1997. p. 101-106.

FURLANI, C. E. A.; CORTEZ, J. W.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; GROTTA, D. C. C.; VENTURELLI, D. M. A. Avaliação do desempenho de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque da haste sulcadora de adubo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 1, p. 79-86, 2008.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

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

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, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 463-514.

GENRO JÚNIOR, S. A.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FONTINELLI, F.; SECCO, D.; FERREIRA, F. P. Influência do sistema de manejo em atributos físico-mecânicos de um argissolo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. **Resumos...** Viçosa, MG: SBCS, 2000. p. 294-299.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GOERING, C. E.; STONE, M. L.; SMITH, D. W.; TURNQUIST, P. K. Development of off-road vehicles. In: ASAE (Org.). **Off-road vehicle engineering principles**. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 1-17.

GROTTA, D. C. C. **Desempenho operacional de semeadora-adubadora e perdas na colheita do milho em sistema de plantio direto**. 2008. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2008.

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

HENKLAIN, J. C. Efeito do preparo sobre as características do solo. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa, PR: IAPAR, 1997. p. 206-221.

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

LACERDA, E. G. **Demanda energética e rendimento do feijoeiro em sistemas de plantio direto**. 2012. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema de plantio direto no cerrado**. 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.

LONGUI, F. C. **Desempenho de semeadora-adubadora de plantio direto de sementes de Brachiaria brizantha**. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamento culturais**. Pelotas, RS: UFPel, 1996. 229 p.

MACINTIRE, D.; GRAY, A. G.; SHARP, M. J. The development and fields trials of the "A" blade coulter for introducing seed into the soil. **Journal Agricultural Engineering Research**, v. 41, p. 43-51, 1986.

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. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 22, n. 3, p. 15-36, 2007.

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

MASIEIRO, 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: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9.; e CONGRESO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, 2010.

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, PB, v. 9, n. 3, p. 424-428, 2005.

MERTEN, G. H. **Avaliação de sistemas de preparo do solo e formas de incorporação de calcário num latossolo bruno álico em sistema de rotação de culturas**. Londrina, PR: IAPAR, 1991. (Relatório Técnico do Programa de Recursos Naturais).

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

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

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

MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; SILVEIRA, J. C. M.; MERCANTE, E. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 4, p. 298-306, 2004.

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

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C. Tratores: semeadura. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, RS, n. 18, p. 24-26, 2003.

NÓBREGA, J. C. A.; CUNHA, R. L.; ALVARENGA, M. I. N.; NÓBREGA, R. S. A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob cafeeiro em sistema convencional e orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 31., 2005, Guarapari, ES. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/SARC/PROCAFÉ, 2005. v. 1.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de latossolo vermelho da microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007.

PEIXOTO, R. T. G. Manejo orgânico da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: PLANTIO DIRETO: O CAMINHO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1997, Ponta Grossa, PR. **Anais...** Ponta Grossa, PR, 1997. p. 186-205.

PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa, PR: IAPAR, 1997. 275 p.

PEREIRA, R. G.; SANTOS, M. N.; QUEIROZ, F. M.; LEMOS, M.; LEITE, G. A. Influência do manejo sobre alguns atributos físicos do solo após cinco anos de cultivo com melão (*Cucumis melo* [L.]). **Revista verde**, Mossoró, RN, v. 5, n. 2, p. 103-108, 2010.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Demanda energética de uma semeadora de fluxo contínuo em três sistemas de manejo do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 24, n. 4, p. 21-32, 2009.

PORTELLA, J. A.; FAGANELLO, A. Máquinas para semeadura direta: desempenho dos elementos rompedores de solo. **Dirigente Rural**, v. 23, p. 13-26, 1984.

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**, Jaboticabal, SP, v. 17, n. 2, p. 71-78, 1997.

POSSEBON, S. B. **Desempenho de uma semeadora-adubadora e métodos de aplicação de inseticidas no sulco em plantio direto**. 2011. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

QUEIROZ, D. M. **Tratores agrícolas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 26 p. (Apostila da disciplina ENG 630: Tratores agrícolas).

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

REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 27, n. 1, p. 304-316, 2007.

RIBEIRO, M. F. S. Mecanização agrícola. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina, PR: IAPAR, 1998. p. 95-111.

RINALDI, P. C. N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A. Demanda energética e capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas de manejo do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 21, n. 4, p. 55-62, 2006.

RUIZ, H. A. **Métodos de análises físicas do solo**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. 22 p. (Apostila da disciplina SOL 640: Física do solo).

SAAD, O. **Máquinas e técnicas de preparo inicial do solo**. São Paulo: Nobel, 1984. 98 p.

SAEG – **Sistema para análises estatísticas, versão 9.1**: Fundação Arthur Bernardes Viçosa, MG: UFV, 2007.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Preparo do solo**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_20_711200516716.html>. Acesso em: 9 nov. 2012.

SANTOS, A. J. M. **Avaliação de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2009.

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 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, MG, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SECCO, D.; BERGOLI, B. D.; SECCO, J. K.; DA ROS, C. O. Eficiência de sistemas de implantação de forrageiras na sobressemeadura de campo natural. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 289, p. 315-323, 2003.

SEED-MAX. **Manual do proprietário**: plantadeiras SEED-MAX. Disponível em: <<http://www.max.ind.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

SILVA, C. S.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; MENDONÇA, L. B. P.; FREITAS, M. C. M. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: Aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

SILVA, A. R. B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2004.

SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H.; MAHL, D.; LEITE, M. A. S.; PONTES, J. R.; GREGO, 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, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD ROM.

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

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 20, n. 2, p. 76-82, 2005.

SILVA, S. L.; SANTOS, S. R. **Máquinas para semeadura, plantio e transplântio**. Cascavel, PR: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2000. 32 p. (Apostila).

SILVA, V. R. **Compressibilidade de um podzólico e um latossolo em função do estado inicial de compactação e saturação em água**. 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1999.

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

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

SILVEIRA, P. M.; STONES, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SIQUEIRA, R. **Milho: semeadoras-adubadoras para sistema de plantio direto com qualidade**. Londrina, PR: IAPAR, 2008. 34 p. (Boletim técnico).

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

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. **Ângulo ideal**. Londrina, PR: IAPAR, 2002. 13 p. (Boletim técnico).

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. 1. ed. St. Joseph : ASAE text books, 1993.

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 sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 725-730, 2001.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 20, p. 333-339, 1996.

TRINTIN, C. G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTTO, V. C. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 27, n.1, p. 127-131, 2005.

VIEIRA, L. B.; REIS, E. F. Máquinas para o plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 22, n. 208, p. 43-48, 2001.

YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; LANÇAS, K. P.; CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1427-1434, 1999.