

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL
DE SEMEADORA-ADUBADORA COM DOIS TIPOS DE
HASTES SULCADORAS EM PLANTIO DIRETO DE MILHO**

Vicente Filho Alves Silva

Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL
DE SEMEADORA-ADUBADORA COM DOIS TIPOS DE
HASTES SULCADORAS EM PLANTIO DIRETO DE MILHO**

Vicente Filho Alves Silva

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2013

Silva, Vicente Filho Alves
S586m Mobilização do solo e desempenho operacional de semeadora-
adubadora com dois tipos de hastes sulcadoras em plantio direto de
milho / Vicente Filho Alves Silva. -- Jaboticabal, 2013
viii, 60 f. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Banca examinadora: Rouverson Pereira da Silva, Denise Mahl
Bibliografia

1. *Zea mays* L. 2. Área mobilizada. 3. Máquinas agrícolas. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.33

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
e-mail: vicentedelta@yahoo.com.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

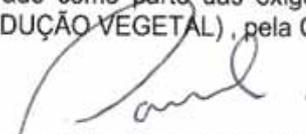
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MOBILIZAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL DE SEMEADORA-ADUBADORA COM DOIS TIPOS DE HASTES SULCADORAS EM PLANTIO DIRETO DE MILHO

AUTOR: VICENTE FILHO ALVES SILVA

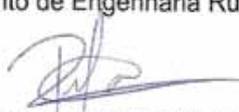
ORIENTADOR: Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



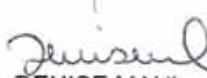
Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dra. DENISE MAHL

Universidade Estadual de Maringá / Cidade Gaucha/PR

Data da realização: 18 de fevereiro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VICENTE FILHO ALVES SILVA – nascido em Araguaína, Tocantins, em 16 de janeiro de 1989, filho de Vicente Alves Neto e Francisca Maria da Silva Alves. cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual Visconde de Souza Franco, em Belém-PA, concluído em 2002, e ensino Médio na Escola Agrotécnica Federal de Castanhal – PA (EAFC), concluído em 2005. Realizou concomitantemente ao Ensino Médio o curso Técnico em Agropecuária finalizado em julho de 2006, sendo na ocasião monitor da disciplina de matemática para o ensino médio. Trabalhou no Centro Nacional de Primatas no mês de fevereiro de 2007, desligando-se para ingressar no Ensino Superior em março de 2007, no curso de Engenharia Agrônoma, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Câmpus Belém-PA, concluindo-o em junho de 2011. Durante a graduação, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial – PET Agronomia/SESu/MEC/UFRA, por três anos, realizando estágio na área de fertilidade e manejo e conservação do solo, onde desenvolveu trabalhos de pesquisa. Em agosto de 2011, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, como bolsista pelo CNPq e desenvolvendo suas pesquisas e estudos no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA). Em fevereiro de 2013, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“Sonhe com aquilo que você quiser. Vá para onde você queira ir. Seja o que você quer ser, porque você possui apenas uma vida e nela só temos uma chance de fazer aquilo que queremos. Tenha felicidade bastante para fazê-la doce. Dificuldades para fazê-la forte. Tristeza para fazê-la humana. E esperança suficiente para fazê-la feliz. O futuro mais brilhante é baseado num passado intensamente vivido. Você só terá sucesso na vida quando perdoar os erros e as decepções do passado. A vida é curta, mas as emoções que podemos deixar duram uma eternidade.”

(CLARICE LISPECTOR)

Aos meus Pais, Francisca Maria da Silva Alves e Vicente Alves Neto, que são minha motivação e exemplo de vida.

DEDICO

Aos meus irmãos Diego Alves Silva e Dyorgge Alves Silva.
A todos meus familiares e amigos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À DEUS e Nossa Senhora que sempre estiveram comigo em todas as horas e lugares, pelo dom da vida, saúde e por mais esta oportunidade concedida.

Aos meus pais, Francisca Silva e Vicente Neto, que sempre batalharam sem medir esforços e sacrifícios para que pudesse concluir meus estudos, pelos grandes ensinamentos, criação, amor, carinho, paciência, confiança e apoio nas decisões. Que DEUS continue sempre protegendo e abençoando vocês.

Aos meus irmãos Diego e Dyorgge, grandes exemplos, que sempre me incentivaram e estiveram juntos nessa jornada.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa, e a empresa JUMIL - Justino de Moraes, Irmãos S/A, pela parceria e apoio no experimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pela amizade, oportunidade, confiança nos meus objetivos, incentivo e apoio que foi dado desde minha chegada em Jaboticabal.

Ao pesquisador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela amizade, incentivo, grandes ensinamentos e conselhos.

À minha namorada Rafaelle Fazzi Gomes, pelo apoio durante o mestrado, pelo companheirismo, convivência, conselhos e amor durante esse tempo.

A todos os amigos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em especial ao pesquisador Dr. Jessivaldo Galvão, Prof. Dr. Carlos Costa, Prof. MSc. Daniel Pinheiro, Eng^o Agr. Nilvan Melo, Eng^o Agr. Eduardo Cardoso Rodrigues (*in memoriam*), e a todos do PET-Agronomia.

Aos amigos integrantes do grupo do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) – Ariel Compagnon, Carlos Chioderoli, Cristiano Zerbato, Érica Tricai, Evaldo Ferezin, Fábio Cavichioli, Leomar Lima, Kaue Oshiro, Marcelo Cassia, Marcelo Boamorte, Melina Cais, Murilo Voltarelli, Rafael Bertonha, Rafael de

Azevedo. Agradeço a oportunidade de conviver com pessoas como vocês e os inúmeros auxílios prestados.

Ao Departamento de Engenharia Rural da FCAV, aos professores e funcionários, que de alguma forma colaboraram com minha formação e realização deste trabalho. Aos assistentes do LAMMA - Aparecido Alves, Sebastião Filho e Valdecir Aparício.

A todos aqueles que, embora não tenha citado os nomes, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, através de ações e/ou conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO DE LITERATURA	3
1 A cultura do milho	3
2 Sistema Plantio Direto	4
3 Conjunto trator-semeadora-adubadora.....	6
4 Mecanismo sulcador da semeadora-adubadora.....	7
III MATERIAL E MÉTODOS	10
1 Localização e caracterização da área experimental	10
2 Análise granulométrica e química do solo	11
3 Delineamento experimental	12
4 Máquinas e equipamentos utilizados	15
4.1 Trator.....	15
4.2 Semeadora-adubadora	16
4.3 Sistema de aquisição de dados.....	16
4.4 Radar	17
4.5 Fluxômetro	18
5 Avaliações realizadas	18
5.1 Área mobilizada, largura e profundidade do sulco	18
5.2 Força e potência na barra de tração	20
5.3 Consumo horário de combustível.....	21
5.4 Consumo operacional combustível	21
5.5 Capacidade de campo operacional	22
5.6 Teor de água no solo	22
5.7 Resistência mecânica do solo à penetração	23
5.8 Número médio de dias para emergência das plântulas	25
5.9 Distribuição longitudinal das plântulas	26

5.10 População inicial de plantas.....	27
5.11 População final de plantas	27
5.12 Altura de inserção da espiga, altura de plantas e diâmetro do colmo	27
5.13 Produtividade de grãos e matéria seca da parte aérea do milho	28
5.14 Características da espiga.....	29
6 Análise estatística.....	30
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
V CONCLUSÕES.....	51
VI REFERÊNCIAS	52

MOBILIZAÇÃO DO SOLO E DESEMPENHO OPERACIONAL DE SEMEADORA-ADUBADORA COM DOIS TIPOS DE HASTES SULCADORAS EM PLANTIO DIRETO DE MILHO

RESUMO – Um dos principais entraves para a utilização do sistema plantio direto (SPD) é criar condições mais adequadas no solo para que a semente/planta expresse todo seu potencial, levando em consideração o uso eficiente da energia. Este trabalho teve como objetivo avaliar a mobilização do solo, o desempenho operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora e características agronômicas da cultura do milho em SPD, utilizando hastes sulcadoras de adubo com ângulos e profundidades variadas. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2011/12 em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da UNESP/Jaboticabal. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 3, com 4 repetições. Os tratamentos foram: duas hastes sulcadoras (29 e 27°) trabalhando em três profundidades (7, 11 e 13 cm). As características avaliadas foram: mobilização do solo, desempenho operacional da semeadora-adubadora e características agronômicas da cultura do milho. As duas hastes não atingiram a profundidade teórica de trabalho, sendo que a de 29° apresentou desenho que não favoreceu a demanda de potência quanto ao aprofundamento no solo. A demanda de tração nas hastes sulcadoras foi afetada pela variação da profundidade e do ângulo das hastes, com o melhor desempenho para a haste de 27° na profundidade de 11 cm. A mobilização do solo foi influenciada somente pelas profundidades de trabalho. As hastes utilizadas e as profundidades não interferiram nos componentes de produtividade da cultura do milho. Os melhores resultados obtidos para o desempenho operacional foram para haste de 27° na profundidade de 11 cm.

Palavras-chave: Área mobilizada, consumo de combustível, demanda de tração, máquinas agrícolas, *Zea mays* L.

SOIL OF MOBILIZATION AND OPERATING PERFORMANCE OF SEEDER-FERTILIZER WITH TWO TYPES OF SHANKS FURROWER IN NO TILLAGE CORN

ABSTRACT – One of the main barriers to the use of no-tillage (NT) is to create a more suitable soil for the seed/plant expresses its full potential, taking into consideration the efficient use of energy. This study aimed to evaluate tillage, the operating performance of the tractor-seeder and agronomic characteristics of corn under NT, using rods furrower fertilizer with varying depths and angles. The experiment was conducted in the agricultural year 2011/12 in the experimental area of the Department of Agricultural Engineering, UNESP/Jaboticabal. We used a randomized block design in a factorial 2 x 3 with 4 replications. The treatments were: furrower two rods (29° and 27°) working at three depths (7, 11 and 13 cm). The characteristics evaluated were: tillage, operating performance of seeder and agronomic characteristics of corn. The two rods not reached the theoretical depth of work, and that of drawing 29° showed no favored the power demand on the soil depth. Demand traction rods furrower was affected by varying the depth and angle of the rods, with the best performance for the rod 27° at a depth of 11 cm. The tillage was influenced only by working depths. The rods used and did not interfere in the depths yield components of corn. The best results for operating performance were to rod 27° at a depth of 11 cm.

Keywords: Mobilized area, fuel consumption, demand traction, farm machinery, *Zea mays* L.

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Análise granulométrica da área experimental na profundidade de 0,0 a 0,20 m, em Jaboticabal, SP.	11
2. Análise química da área experimental na profundidade de 0,0 a 0,20 m, em Jaboticabal, SP.	12
3. Dimensões das hastes utilizadas no experimento.	13
4. Análise de variância e teste de médias para área mobilizada (AM), largura do sulco (LS) e produtividade (PROD) na operação de semeadura do milho.	31
5. Análise de variância e teste de médias para força média (FM), força pico (FP), potência média (PM) e potência pico (PP) na barra de tração na operação de semeadura do milho.	34
6. Análise de variância e teste de médias para força média específica (FE) força pico específica (FPE), potência média específica (PE) e potência pico específica (PPE) na operação de semeadura do milho.	37
7. Análise de variância e teste de médias para consumo horário (Ch) e consumo operacional (Co) de combustível na operação de semeadura do milho.	39
8. Síntese da análise de variância para a distribuição longitudinal de plântulas de milho nos espaçamentos normal, falho e duplo.	41
9. Síntese da análise de variância para número médio de dias para emergência de plântulas (NMDE), população inicial (PI) e população final (PF) da cultura do milho.	44
10. Síntese da análise de variância para altura de planta aos 90 e 120 dias (AP90 e AP120) e diâmetro do colmo aos 90 e 120 dias (DC90 e DC120), altura espiga aos 120 dias (AE120) e relação altura da espiga e altura planta (AE/AP) em plantas de milho.	46

11. Síntese da análise de variância para massa da espiga com palha (MECP), massa da espiga sem palha (MESP), massa dos grãos da espiga (MGE), e massa do sabugo (MS) do milho.....47
12. Síntese da análise de variância para comprimento da espiga (CE), e diâmetro espiga (DE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), massa de 1000 grãos (M1000G), e massa seca da palhada (MS).....49

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Imagem aérea da área experimental. (Fonte: google Earth 2012).	10
2. Dados meteorológicos da precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período de 2011/12. (Fonte: Departamento de Ciências Exatas da FCAV – UNESP, Jaboticabal).	11
3. Hastes utilizadas no experimento.	13
4. Croqui da área experimental com distribuição das parcelas e tratamentos no campo.	14
5. Trator utilizado no experimento.	15
6. Semeadora-adubadora utilizada.	16
7. Sistema de aquisição de dados utilizado.	17
8. Radar, alinhado com ângulo de 45° em relação ao solo.	17
9. Fluxômetro.	18
10. Perfilômetro de varetas para determinação da mobilização do solo.	20
11. Célula de carga utilizada.	20
12. Trado holandês utilizado para coleta de solo (a) e estufa para secagem das amostras (b).	23
13. Penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo. Fonte: Toledo et al., (2009).	24
14. Emergência das plântulas após a semeadura.	26
15. Medição dos espaçamentos entre plantas para determinação da distribuição longitudinal no campo.	26
16. Altura das plantas (a), e diâmetro do colmo (b) aos 120 dias.	28
17. Máquina trilhadora estacionária (a), e armação para coleta de massa seca.	29

18. Balança digital para pesagem das espigas (a), e paquímetro digital para aferições de comprimento e diâmetro.	29
19. Valores médios obtidos do desdobramento para força (FM) (a) e potência média (PM) (b) na barra de tração na operação de semeadura do milho	36
20. Valores médios obtidos do desdobramento para consumo horário (Ch) (a) e consumo operacional (Co) (b) na operação de semeadura do milho.....	40
21. Valores médios obtidos do desdobramento para o percentual de espaçamentos falhos entre plântulas de milho.....	42
22. Valores médios obtidos do desdobramento da população inicial de plântulas de milho.....	45

I INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta alto potencial produtivo, podendo alcançar altas produtividades. No entanto as baixas produtividades podem estar relacionadas a tecnologias inadequadas de manejo. Aliado a isso, a qualidade da operação de semeadura pode ser um dos diferenciais para o estabelecimento adequado da cultura.

O sistema plantio direto (SPD) é uma realidade na agricultura brasileira, que vem crescendo a cada ano, sendo necessário cada vez mais a modernização e estudo do tema, diante de novos mecanismos agregados às máquinas. Este sistema destaca-se pela menor intensidade de mobilização do solo, e pela redução da frequência de tráfego de máquinas agrícolas sobre o terreno, e por manter sobre a superfície do mesmo uma quantidade maior de massa vegetal, o que o caracteriza como conservacionista.

O emprego do SPD no Brasil passou a ser visto como importante forma de manejo dos solos, visto que, áreas sob preparo convencional possibilitam maior intensidade de processos erosivos, pelo araste de solo com a declividade, perdendo-se a parte mais fértil do solo. É importante ressaltar, que no SPD também ocorre movimentação de água e solo sob a palhada, mas menos intensa quando comparada ao preparo convencional, com grande diferença na velocidade com que a água se move no SPD, que é bem menor.

Assim sendo, a inserção do SPD em áreas tropicais é comum, e visa melhorar a estrutura do solo, bem como também o aumento de produtividade. Porém, o SPD pode ocasionar compactação nas camadas mais superficiais do solo, interferindo no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Com isso, o mecanismo de abertura de sulco tipo haste torna-se necessário em determinados casos, principalmente em solos argilosos para romper a camada compactada.

As hastes podem ser reguladas para permitir maior profundidade, bem como, seu ângulo de ataque da ponteira pode ser alterado ou modificado, interferindo diretamente na mobilização do solo e capacidade operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora. Além disto, o rompimento das camadas de solo com maior

resistência à penetração, proporcionando ambiente mais favorável ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade. Isso resulta em maior volume de solo explorado pelo sistema radicular, garantindo maior quantidade de água e de nutrientes, principalmente em períodos de estiagens.

Contudo, ainda é muito questionado e debatido tanto por pesquisadores quanto produtores, qual seria o tipo de haste sulcadora mas adequado e a profundidade ideal de abertura dos sulcos de semeadura. Desta forma, partindo da hipótese de que o tipo de haste e a profundidade de trabalho podem influenciar no desempenho operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora e no desenvolvimento da cultura do milho, podendo com estas variáveis aumentar a produtividade da cultura, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a mobilização do solo, o desempenho operacional do conjunto mecanizado e as características agrônômicas da cultura do milho, utilizando dois tipos de hastes e três profundidades das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora.

II REVISÃO DE LITERATURA

1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais de maior destaque econômico e mais estudado, devido seus grãos apresentarem alto valor nutricional, sendo utilizado nas alimentações humana e animal, e servindo também de matéria-prima para a indústria (SOUZA et al., 2012). A cultura é uma das graníferas de maior importância na produção agrícola do Brasil. De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho para a produção animal pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido no país para o consumo na forma de ração.

O Brasil é o terceiro país que mais possui área colhida de grãos de milho, média de 15 milhões de hectares a cada safra, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China (CIB, 2012). Estima-se que a produção mundial de milho na safra 2012/13 encontra-se em torno de 945,8 milhões de toneladas, sendo 375,7 milhões produzidos nos Estados Unidos, 193 na China, 67 milhões no Brasil e 63 na União Europeia (AGRIANUAL, 2012). No Brasil, na safra 2011/12, foram cultivados 15.178,1 milhões de hectares e colhidos 72.979,8 milhões de toneladas de grãos de milho (CONAB, 2013).

O potencial produtivo de uma cultura pode ser definido como o rendimento apresentado por ela quando cultivadas em ambientes ao qual estão adaptadas, sem limitações de nutrientes e sem estresses bióticos e abióticos (ARGENTA et al., 2003). A cultura do milho tem alto potencial produtivo, podendo alcançar elevada produtividade de grãos tanto em condições experimentais como por agricultores que adotam tecnologias adequadas de manejo. No entanto, observa-se na prática produtividades baixas e irregulares, com média de 4,8 t ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2013).

De acordo com Silva (2004), a baixa produtividade ocorre devido a não adequação de vários fatores, tais como a fertilidade do solo, população, arranjo de plantas, escolha de cultivares adaptada a cada condição de manejo, clima e práticas culturais, aliado a qualidade da operação de semeadura.

A cultura do milho tem ciclo vegetativo variável, abrangendo desde genótipos precoces, onde a polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência (DAE), até mesmo aqueles cujo ciclo vital pode alcançar 300 DAE, ou seja, ciclo mais tardio. No Brasil, o milho apresenta ciclo vegetativo variando entre 110 a 180 DAE, em função da caracterização dos genótipos conforme os ciclos vegetativos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

2 Sistema Plantio Direto

No quadro agrícola brasileiro há uma preocupação constante com a conservação dos recursos naturais, fazendo com que a todo momento sejam geradas novas tecnologias que possam atender os requisitos básicos para a formação de uma agricultura sustentável e lucrativa. A principal técnica relacionada à sustentabilidade, que mantém a fertilidade e vida do solo, é o sistema plantio direto (MESCHÉDE, 2006), sendo sua introdução um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira (LOPES et al., 2009).

Neste contexto, o SPD destaca-se pela menor intensidade de mobilização do solo e pela redução da frequência de tráfego de máquinas sobre o solo e por manter sobre a superfície do mesmo quantidade maior de massa vegetal (BARUT; ERTEKIN; KARAAGAC, 2011; LÓPEZ-FANDO; PARDO, 2012; MEKI et al., 2013), além de manter e/ou aumentar o seu nível de fertilidade (KOLAWOLE, 2013), caracterizando-o como sistema conservacionista. Weih et al. (2008) definiram sustentabilidade na agricultura como aumento da utilização de técnicas ecológicas para melhoria do solo.

O uso do Sistema Plantio Direto se iniciou no Sul do Brasil no final da década de 1970 e se estendeu até a região Centro-Oeste a partir da década de 1990 (TORRES, 2003), tendo como principal objetivo proteger o solo contra a erosão. Porém, ao longo desse período, as pesquisas passaram a focar as alterações físicas, químicas e biológicas do solo, decorrentes da semeadura direta (AMARAL et al., 2008). Um dos fundamentos do SPD é a manutenção de quantidade significativa de palha na superfície do solo, o que é conseguido através de sequências

planejadas de culturas, definidas em função dos sistemas de produção e das condições edafoclimáticas regionais.

O Plantio Direto é um sistema em que a colocação de sementes é feita em sulco com profundidade e largura adequada para cobertura e contato da semente com o solo, em solos mobilizados somente na linha de semeadura. A semeadura é feita em solo coberto por uma camada residual da cultura anterior e resíduo de plantas mortas por herbicidas dessecantes (MUZILLI, 1981). Para Amado et al. (2007) o SPD é uma das mais eficientes técnicas para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo, pois representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura.

O SPD é um sistema de manejo conservacionista constituído por práticas de manejo que envolve, necessariamente, rotação de culturas, mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura e cobertura permanente do solo (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). Para Ling-ling et al. (2011), a agricultura conservacionista é um fato importante ligado diretamente à conservação do solo e da água, e à produtividade de culturas de alta rentabilidade, podendo-se resumir como sendo um desenvolvimento sustentável para a agricultura.

O não revolvimento do solo no SPD, associado ao tráfego de máquinas, provoca compactação da camada superficial com aumento da densidade do solo e redução da porosidade total e dos macroporos (GARCIA; RIGUES, 2008). Essas alterações, associadas à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água (CAMARA; KLEIN, 2005), produzindo grandes enxurradas, especialmente sob situações, tais como solos de alta erodibilidade, umidade antecedente e precipitações elevadas, longos comprimentos de rampa e/ou maiores inclinações do terreno e ausência de práticas conservacionistas de suporte, que podem ocasionar perdas de solo elevadas no SPD (MORAIS; COGO, 2001; BERTOL et al., 2007).

Para Cortez et al. (2008), a utilização do sistema plantio direto passou a ser vista como importante ferramenta no manejo dos solos, o preparo convencional não conserva os solos, ou ainda, acaba incorporando o problema da erosão, pelo araste de solo, levando a parte mais fértil do solo. Isso não significa que no sistema plantio

direto não ocorre movimentação de água embaixo da palha, mas, é menor quando comparada ao preparo convencional.

O emprego de sistemas de rotação de culturas, em especial no SPD, tem sido preconizado para o manejo físico, químico e biológico do solo. Do ponto de vista da física do solo, tem-se estimulado a adoção da rotação de culturas para manter e/ou aumentar os teores de matéria orgânica, criar poros biológicos, melhorar a estrutura e manter palha suficiente na superfície do solo. A bioporosidade criada pela atividade radicular e mesofauna do solo e a possibilidade das raízes de algumas culturas penetrarem camadas mais compactadas, têm sido o motivo de se considerar a rotação de culturas fundamental em plantio direto. Estratégias de manejo que mantêm ou adicionam carbono ao solo, têm bom potencial para a melhoria da qualidade física do solo para o crescimento das plantas (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

3 Conjunto trator-semeadora-adubadora

As mudanças nas tecnologias agrícolas aumentaram a quantidade de energia usada na produção agrícola (KHALEDIAN et al., 2010; DI NASSO et al., 2011), sendo normalmente representada por cerca da metade das operações realizadas anualmente no campo, em termos de tráfego de máquinas. A rentabilidade e o uso eficiente da energia podem ser melhorados com a redução da mobilização e de custos dos trabalhos operacionais por máquinas (KHAKBAZAN et al., 2009), além da redução dos gases de efeito estufa (CASTELLINI; VENTRELLA, 2012).

Porém, o SPD aliado ao tráfego de máquinas, pode ocasionar compactação nas camadas mais superficiais do solo, interferindo na produtividade das culturas (BOTTA et al., 2012). Segundo Drescher et al. (2011) além dos prejuízos causados à estrutura do solo e ao crescimento e desenvolvimento das plantas, os processos de compactação do solo também interferem diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas, promovendo, dentre outros, incremento na demanda de potência para tração.

A semeadora é o equipamento mais importante para o sucesso do plantio

direto. Além da distribuição uniforme das sementes e sua colocação adequada no sulco para garantir a germinação, a semeadora sob plantio direto desempenha as funções de cortar a palha e romper o solo na linha de semeadura (SANTOS; TOURINO; VOLPATO, 2008).

Independentemente do tipo, número de linhas, força de tração ou potência utilizada, uma semeadora-adubadora de plantio direto, conforme Siqueira, Casão Júnior e Araújo (2004) deve, cortar a palha, abrir o sulco com pequena remoção de solo e palha, dosar o fertilizante e as sementes, depositar o fertilizante e as sementes em profundidades adequadas, cobrir as sementes com solo e palha e compactar o solo lateralmente à semente.

A avaliação do desempenho de semeadoras é uma ferramenta indispensável aos produtores que buscam competitividade de mercado e sucesso da produtividade. As falhas de semeaduras podem acarretar perdas na produtividade um fator indesejável no final do ciclo da cultura. Diversos fatores podem interferir na operação de semeadura, podendo estar relacionados à semente, solo, máquina, clima e operador (BALASTREIRE, 2005).

A uniformidade de distribuição de sementes, obtida pela regulagem correta da semeadora-adubadora e adequação do trator, tem sido colocada na bibliografia como uma das formas de aumento da produtividade de certas culturas, dentre as quais o milho se destaca como a mais representativa (MELLO; PINTO; YANO, 2003).

4 Mecanismo sulcador da semeadora-adubadora

O uso de hastes sulcadoras para a deposição do adubo, durante a semeadura das culturas estivais, ao ocasionar maior mobilização de solo comparativamente aos discos duplos, constitui-se em alternativa para contornar problemas relacionados à compactação superficial do solo que, além de ser a mais prejudicial ao crescimento das plantas, é a de ocorrência mais comum em áreas submetidas a pisoteio animal (UNGER; KASPAR, 1994).

Com isso, o mecanismo de abertura de sulcos tipo haste torna-se necessário em determinados casos, principalmente em solos argilosos, para romper as camadas compactadas ou suscetíveis à compactação (CEPIK et al., 2010). A haste pode ser regulada para maior profundidade, bem como, o ângulo de ataque da haste e da ponteira com o solo, interferindo diretamente na mobilização do solo e capacidade operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora.

Além disto, a adoção de mecanismo rompedor de solo tipo haste em semeadoras de plantio direto, pode ocasionar aumento de 24,3% na porosidade do solo, comparativamente à adoção exclusiva de discos (KOAKOSKI et al., 2007). Esses mesmos autores verificaram ainda que o uso da haste proporciona, também, menores valores de resistência à penetração do que o disco duplo na linha de semeadura, especialmente na camada de 10 a 15 cm, o que pode resultar em maior volume de solo explorado pelo sistema radicular, garantindo maior quantidade de água e de nutrientes, principalmente em períodos de estiagens.

O uso de hastes sulcadoras permite a deposição do fertilizante a maiores profundidades, o que pode estimular o aprofundamento das raízes, tendo em vista que os nutrientes, em SPD, tendem a se concentrar na superfície do solo e, desse modo, minimizar os efeitos da compactação sobre o crescimento das plantas. Porém, 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-adubadora quando comparado o mesmo número de linhas (SILVA, 2003).

Entretanto, a relação entre força de tração e grau de compactação pode ser modificada quando do uso de hastes e ponteiros com geometrias diferentes ou mediante a alteração da profundidade de atuação, pois esses são alguns dos fatores que influenciam a tração e grau exigido pelas hastes sulcadoras (CONTE et al., 2007). Cabe ainda salientar que o estudo de correlação entre a tração e força demandada por hastes sulcadoras e o estado de compactação exige a utilização de um indicador confiável da magnitude desse último. A resistência a penetração é um dos indicadores do estado de compactação do solo mais utilizados atualmente, devido à facilidade e rapidez de execução do ensaio (CHANCELLOR, 1994), bem

como a sua maior sensibilidade à mudanças do manejo comparativamente à densidade do solo (BOTTA et al., 2006).

Godwin e Spoor (1978) afirmam que a mobilização do solo depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da haste, além da umidade e da densidade do solo. Araújo et al. (1999), concluíram que houve aumento da área de solo mobilizado com o aumento da velocidade, em experimentos com milho, em consequência da movimentação proporcionada pela haste sulcadora.

Os componentes de abertura do sulco e controle da profundidade são de extrema importância, estando relacionados à produtividade final da cultura (MAHL et al., 2004). Além disto, a manifestação do potencial de rendimento de grãos das culturas depende de fatores genéticos e de condições favoráveis de ambiente e de manejo (EVANS; FISCHER, 1999).

III MATERIAL E MÉTODOS

1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP/Jaboticabal, no Estado de São Paulo, no período de novembro de 2011 a abril de 2012, localizada em torno das coordenadas geodésicas $21^{\circ}14'54''$ S e $48^{\circ}16'51''$ W, com altitude média de 568 m e declividade média de 4% (Figura 1). O solo da área foi classificado por Andrioli e Centurion (1999) como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico, A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado, de acordo com Embrapa (2006).



Figura 1. Imagem aérea da área experimental. (Fonte: google Earth 2012).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual em torno de $22,2^{\circ}\text{C}$. A amplitude térmica anual, apresenta-se com temperatura média no mês mais frio em torno de 18°C e a temperatura mais quente em torno de 32°C . Esta região apresenta precipitação pluviométrica média anual de 1424 mm. Os dados climatológicos do ano de realização do experimento encontram-se na Figura 2.

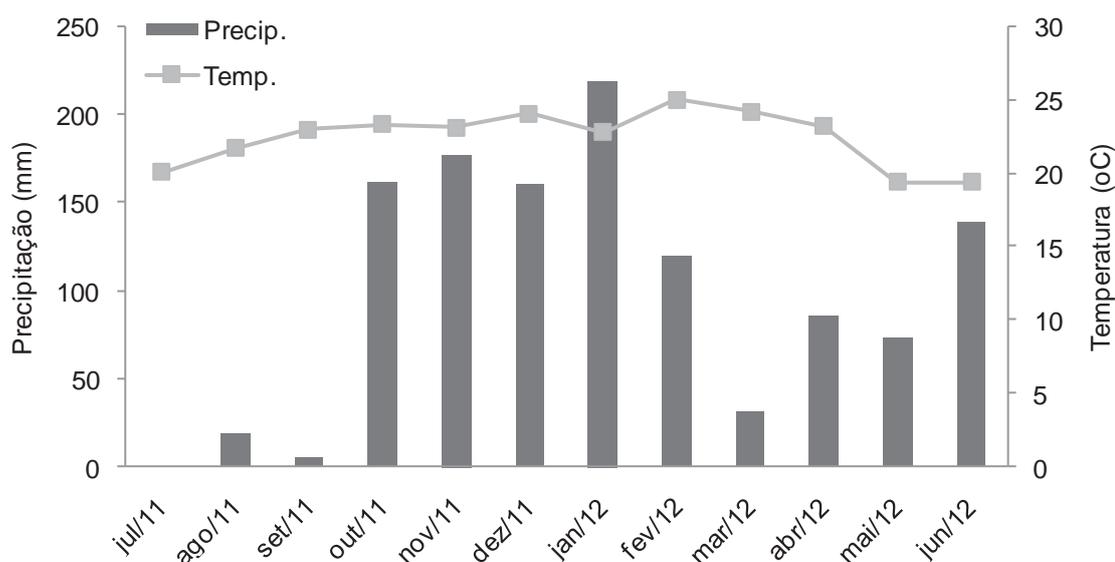


Figura 2. Dados meteorológicos da precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período de 2011/12. (Fonte: Departamento de Ciências Exatas da FCAV – UNESP, Jaboticabal).

2 Análise granulométrica e química do solo

As análises granulométrica (Tabela 1) e química do solo (Tabela 2) foram amostradas na profundidade de 0,0 a 0,20 m, realizadas antes da implantação do experimento.

Tabela 1. Análise granulométrica da área experimental na profundidade de 0,0 a 0,20 m, em Jaboticabal, SP.

Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia		Classe Textural
			Fina	Grossa	
0,0 - 0,20	(g kg ⁻¹)				Argiloso
	481	291	116	112	

Tabela 2. Análise química da área experimental na profundidade de 0,0 a 0,20 m, em Jaboticabal, SP.

Profundidade	pH	M.O	P.resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
(m)	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mmol _c dm ⁻³)						(%)
0,0 - 0,20	5,6	24	48	3,3	47	24	25	74,3	99,3	75

* M.O: matéria orgânica; SB: soma de bases; T: CTC; V: saturação por bases.

3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 3, com quatro repetições, perfazendo 24 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de hastes sulcadoras (H1 = 29° e H2 = 27° de ângulo de ataque) (Figura 3), em três profundidades de trabalho teóricas de acordo com a furação da empresa (5, 12 e 19 cm), que resultaram em profundidades a campo de 7; 11 e 13 cm, as quais foram utilizadas no decorrer do trabalho. As dimensões das hastes encontram-se na Tabela 3.



Figura 3. Hastes utilizadas no experimento.

Tabela 3. Dimensões das hastes utilizadas no experimento.

Haste	Espessura			
	haste	ponteira	de corte da haste	de corte da ponteira
	(mm)			
H1	10,0	23,0	0,6	4,5
H2	13,0	24,0	3,0	4,5

As parcelas experimentais foram de 100 m² (25 x 4 m), com carregadores de 15 m (no sentido longitudinal) entre as parcelas para manobras e estabilização da velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora (Figura 4). Cada parcela foi constituída de quatro linhas de milho, espaçadas de 0,90 m. A cultura do milho foi implantada em Sistema Plantio Direto, com 10 anos de cultivo, sob palhada da cultura de soja (1360 kg ha⁻¹), utilizando sementes do híbrido simples BG 7049, precoce, da empresa Pioneer[®], com adubação de 330 kg ha⁻¹ (NPK 8-20-20) de acordo com a recomendação para a cultura (RAIJ et al., 1997).

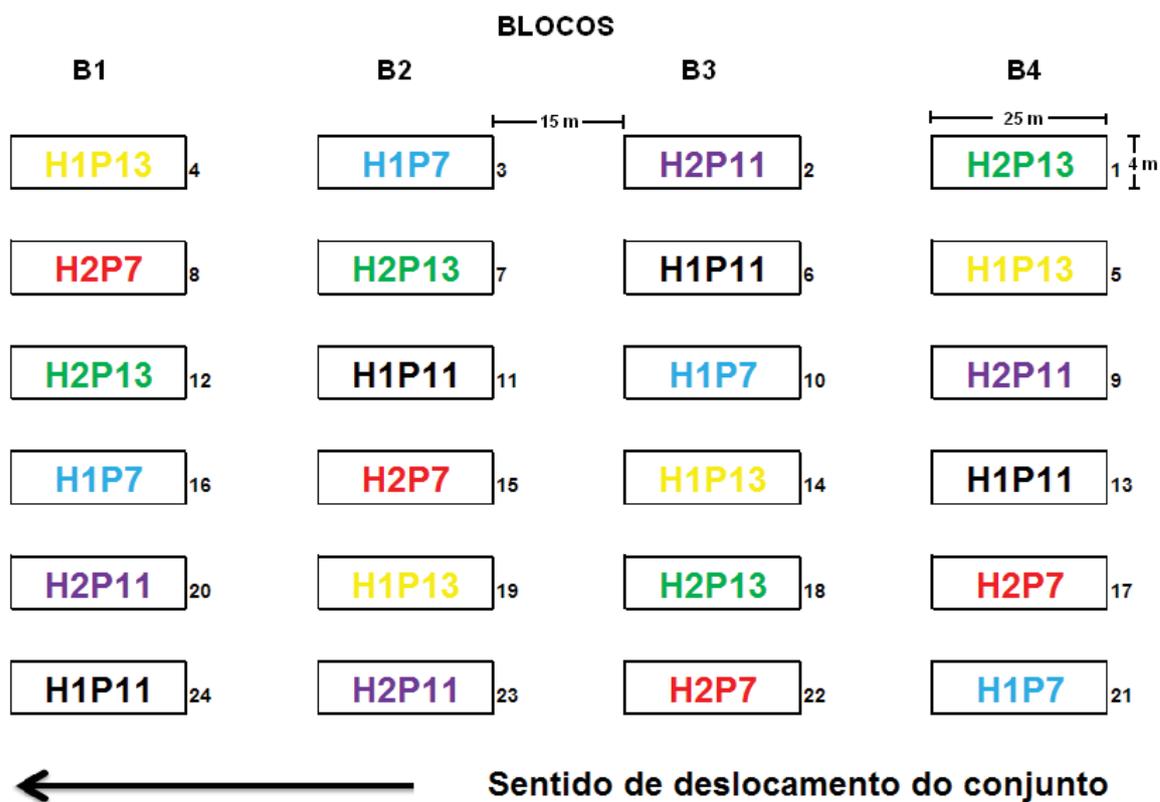


Figura 4. Croqui da área experimental com distribuição das parcelas e tratamentos no campo.

Legenda:

H1 – Haste com ângulo 29°;

H2 – Haste com ângulo 27°;

P7 – Profundidade do sulco de 7 cm;

P11 – Profundidade do sulco de 11 cm; e

P13 – Profundidade do sulco de 13 cm.

4 Máquinas e equipamentos utilizados

4.1 Trator

Foi utilizado um trator da marca Valtra, modelo BM 125i (Figura 5), 4x2 TDA, com potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2300 rpm, com pneus dianteiros 14.9 - 26 R1, 6 lonas, com pressão de insuflagem de 137,9 kPa (20 psi); e traseiros 23.1 - 30 R1, 12 lonas, com pressão de insuflagem de 165,5 kPa (24 psi). A bitola dianteira e traseira foi de 1,85 m.



Figura 5. Trator utilizado no experimento.

O trator possuía massa de 6.454 kg, distribuídas com 42% no eixo dianteiro e 58% no traseiro, com 51,6 kg cv⁻¹ (relação massa/potência). Estava lastrado com água até 75% nos pneus dianteiros e traseiros, e elementos metálicos, sendo 5 elos frontais com massa de 35 kg e mais 6 elos com massa de 37,5 kg para os pneus dianteiros, e 5 anéis laterais com massa de 70 kg em cada pneu traseiro, acoplados no centro da roda. O conjunto trator-semeadora-adubadora trabalhou na marcha 2ªL a 2300 rpm com velocidade média de 5,9 km h⁻¹.

4.2 Semeadora-adubadora

Para a operação de semeadura foi utilizada uma semeadora-adubadora de marca Jumil, modelo JM3060PD, com disco mecânico para distribuição de sementes; pneus 6.50-16, 10 lonas; marcador de linha hidráulico; depósito de adubo com dosador fertisystem; disco de corte liso 17"; unidade adubadora por linha; hastes sulcadoras; uma unidade semeadora pantográfica; controlador de profundidade com bandas paralelas; discos duplos para sementes, com profundidade de deposição regulada para 3 cm; e conjunto compactador flutuante "V"; operando com 4 linhas de semeadura; espaçamento entre linhas de 0,90 m, com largura útil de 3,6 m e massa de 3000 kg (Figura 6).



Figura 6. Semeadora-adubadora utilizada.

4.3 Sistema de aquisição de dados

Para realizar a aquisição e armazenamento dos dados referentes às variáveis velocidade de deslocamento, consumo de combustível e força de tração, analisadas durante a condução do experimento, foi utilizado um sistema composto por *Micrologger* CR23X de marca Campbell Scientific Inc (Figura 7), programado para

obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial para computador. Os sensores foram alimentados por bateria auxiliar montada ao sistema.



Figura 7. Sistema de aquisição de dados utilizado.

4.4 Radar

A velocidade real de deslocamento foi mensurada por meio de radar, marca Dickey John, modelo RVS II, com erro de $\pm 3\%$ para velocidades de 3,2 a 70,8 km h⁻¹, instalado na lateral do trator, fazendo ângulo de 45° com a superfície do solo (Figura 8). O radar trabalha à frequência de 1 Hz. Considerou-se como velocidade real de deslocamento, a média obtida pelo radar no momento em que o trator estava em operação na parcela experimental. Os valores de velocidade foram obtidos em m h⁻¹ e convertidos para km h⁻¹.



Figura 8. Radar, alinhado com ângulo de 45° em relação ao solo.

4.5 Fluxômetro

Para a determinação do consumo de combustível, utilizaram-se dois fluxômetros, sendo um para quantificar o volume de alimentação da bomba injetora e o outro para o volume de retorno, obtendo-se o volume realmente utilizado pelo trator durante o percurso. Cada conjunto contém um medidor de fluxo, marca Oval M – III, modelo LSF41 (Figura 9). Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em mL.

De posse desses dados, determinaram-se os consumos horário e operacional de combustível.



Figura 9. Fluxômetro.

5 Avaliações realizadas

5.1 Área mobilizada, largura e profundidade do sulco

Realizou-se a abertura do sulco de forma manual se localizar a camada compactada, sendo possível modelar o sulco. As variáveis avaliadas foram:

- **Largura e profundidade do sulco:** estas avaliações foram realizadas com a ajuda de um perfilômetro constituído de 45 varetas, espaçadas de 0,01 m e altura máxima de 0,3 m (MAHL, 2002). Ao fundo do equipamento colocou-se um quadro de linhas na horizontal com espaçamento de 0,005 m para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por imagens fotográficas, com quatro repetições por parcela experimental nas duas linhas centrais (Figura 10). O posicionamento da extremidade superior das varetas copia a forma geométrica do sulco, podendo-se então realizar as leituras. A largura foi definida da primeira até a última vareta a qual, ao caírem no solo, apresentaram medidas distintas. A profundidade máxima foi definida pela média das três varetas que apresentaram maior medida.

- **Área mobilizada do sulco:** após as leituras das imagens fotográficas os dados foram lançados em uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel®, em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora, em cm^2 , resultante da integral da regra do trapézio (RUGGIERO; LOPES, 1996), de acordo com a equação 1:

$$\int = \frac{h}{2} \{f(x_0) + 2[f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{m-1})] + f(x_m)\} \quad (1)$$

em que:

\int = integral numérica para área mobilização do solo;

h = distância entre as varetas do perfilômetro (1 cm); e

$f(x)$ = valor das leituras das varetas (cm).



Figura 10. Perfilômetro de varetas para determinação da mobilização do solo.

5.2 Força e potência na barra de tração

A força requerida na barra de tração foi medida utilizando-se célula de carga marca Shimizu, modelo TF 400, com capacidade de 100 kN e precisão de ± 1 N (Figura 11), instalada sobre um suporte entre a barra de tração do trator e o cabeçalho da semeadora-adubadora. Os dados foram coletados e armazenados na frequência de 1 Hz. Os dados foram obtidos em kgf e convertidos para kN. De posse dos dados, calculou-se o valor médio da força de tração de cada parcela experimental.



Figura 11. Célula de carga utilizada.

O parâmetro potência média na barra de tração (kW) é função da força de tração na barra (kN) e da velocidade de deslocamento (m s^{-1}) (SALVADOR; MION; BENEZ, 2009).

A força e a potência pico na barra de tração foram representadas pelo maior valor obtido na parcela experimental. A força e a potência específicas na barra de tração (N cm^{-2}) foram obtidas dividindo-se os valores de força e potência pela unidade de secção de solo mobilizado.

5.3 Consumo horário de combustível

Com base no volume consumido de combustível (descrito no item 4.5) e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário de combustível (Equação 2):

$$Ch = \left(\frac{Va - Vr}{t} \right) \times 3,6 \quad (2)$$

em que:

Ch = consumo horário de combustível (L h^{-1});

Va = volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (mL);

Vr = volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (mL);

t = tempo de percurso na parcela (s); e

3,6 = fator de conversão.

5.4 Consumo operacional combustível

O consumo operacional de combustível foi calculado com base no consumo horário e na capacidade de campo operacional, sendo expresso em L ha^{-1} (Equação 3):

$$Co = \frac{Ch}{Cco} \quad (3)$$

em que:

C_o = consumo operacional de combustível ($L\ ha^{-1}$);

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

C_{co} = capacidade de campo operacional ($ha\ h^{-1}$).

5.5 Capacidade de campo operacional

A capacidade de campo operacional foi obtida em função da largura de trabalho da semeadora-adubadora, da velocidade de deslocamento do conjunto trator-escarificador, e da eficiência da operação, a qual foi adotada para efeito de cálculo como sendo 75% (Equação 4):

$$C_{co} = \left(\frac{v \times Le}{10} \right) \times e \quad (4)$$

em que:

C_{co} = capacidade de campo operacional ($ha\ h^{-1}$);

v = velocidade real de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora ($km\ h^{-1}$);

Le = largura útil de trabalho da semeadora-adubadora (m);

e = eficiência (decimal); e

10 = fator de conversão de unidades.

5.6 Teor de água no solo

No momento da semeadura, foram coletadas amostras de solo em um ponto por parcela, para determinação do teor de água, com auxílio de trado holandês (Figura 12a), nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. As amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio e posteriormente levadas para secagem em estufa elétrica, regulada à temperatura de 105 °C até obter massa constante (Figura 12b), possibilitando o cálculo do teor de água segundo o método gravimétrico padrão descrito em Embrapa (1997). Para o cálculo foi utilizada a

Equação 5. Os resultados do teor de água no solo na camada de 0,00 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m foram 20,2 e 21,6%, respectivamente.

$$U = \frac{(UM - MS)}{(MS - P)} \cdot 100 \quad (5)$$

em que:

Ta = umidade no solo (%);

UM = massa úmida (g);

MS = massa seca (g); e

P = peso do anel volumétrico (g).



(a)



(b)

Figura 12. Trado holandês utilizado para coleta de solo (a) e estufa para secagem das amostras (b).

5.7 Resistência mecânica do solo à penetração

Para as medições da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi utilizado um penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo (Figura 13), o qual foi desenvolvido pela empresa DLG Automação Industrial Ltda (RIBEIRO, 2010). O penetrômetro modelo PNT-2000/MOTOR possui entrada para GPS e é constituído

de célula de carga com capacidade nominal de 150 kgf (1.500 N) para medição da força normal de penetração da haste. O quadriciclo utilizado para acoplar o penetrômetro é da marca Suzuki Motors, modelo LT-F160 QUADRUNNER, que possui massa de 162 kg, motor monocilindro com volume total de 158 cm³, quatro tempos arrefecido a ar, movido à gasolina. A haste utilizada possui ponteira cônica de 71,25 mm² e construída segundo o padrão ASAE S313.3 (ASAE, 1998), que determina as normas para o ensaio. A profundidade máxima de amostragem é de 0,55 m, medida por sensor indutivo-capacitivo com 2 mm de precisão. A velocidade de penetração da haste é de 0,03 m s⁻¹ e a frequência de aquisição de 3 Hz. Desta forma, os dados foram coletados em intervalos de 0,01 m.



Figura 13. Penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo. Fonte: Toledo et al., (2009).

A comunicação com o penetrômetro segue o padrão NMEA-0183. A conexão com o GPS e a transferência dos dados coletados e armazenados no equipamento foi feita utilizando-se uma interface serial RS-232. Os dados foram descarregados diretamente ao programa de computador fornecido pela fabricante do penetrômetro, denominado PNTView.

Em cada parcela experimental, três dias antes da semeadura, foram coletados cinco amostras de RMSP para caracterização da área, em pontos

aleatórios da parcela, até a profundidade de 0,30 m, para determinação do índice de cone (IC), a cada intervalo de profundidade de 0,10 m. Foram encontrados valores de Índice de Cone (IC) de 2,361; 3,592 e 3,964 MPa nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,30 m, com o teor médio de água de 23,1; 23,6 e 24,8%, respectivamente.

5.8 Número médio de dias para emergência das plântulas

Avaliou-se o número médio de dias para a emergência das plântulas de milho, com a contagem diária, considerando-se qualquer parte das plântulas visíveis sobre o solo, até a estabilização, em seis metros nas duas linhas centrais de cada parcela (Figura 14), calculado de acordo com a equação (6) de Edmond e Drapala (1958).

$$NMDE = \frac{[(N1.G1) + (N2.G2) + \dots + (Nn.Gn)]}{(G1 + G2 + \dots + Gn)} \quad (6)$$

Em que:

$NMDE$ = número de dias para emergência de plântulas de milho;

N_1 = número de dias decorridos entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G_1 = número de plântulas emergidas na primeira contagem;

N_2 = número de dias decorridos entre a semeadura e a segunda contagem de plântulas;

G_2 = número de plântulas emergidas entre a primeira e segunda contagem;

N_n = número de dias decorridos entre a semeadura e a última contagem de plântulas;

G_n = número de plântulas emergidas entre a penúltima e última contagem.



Figura 14. Emergência das plântulas após a sementeira.

5.9 Distribuição longitudinal das plântulas

A distribuição longitudinal das plântulas na linha de sementeira foi determinada mediante a mensuração da distância entre todas as plantas existentes numa faixa de 6 m, nas duas linhas centrais de cada parcela, sendo o espaçamento entre plântulas medido com trena graduada (Figura 15).



Figura 15. Medição dos espaçamentos entre plantas para determinação da distribuição longitudinal no campo.

Os espaçamentos entre as plântulas (X_i) foram analisados mediante classificação proposta por Kurachi et al. (1989), determinando-se o percentual de espaçamentos correspondentes às classes: normal ($0,5 X_{ref} < X_i < 1,5 X_{ref}$), múltiplo ($X_i < 0,5 X_{ref}$) e falho ($X_i > 1,5 X_{ref}$), baseado em espaçamento de referência ($X_{ref} = 13,7$ cm) de acordo com a regulagem da semeadora.

Para expressar a regularidade dos espaçamentos entre plântulas, foi determinado o coeficiente de variação de todos os espaçamentos.

5.10 População inicial de plantas

Considerou-se como população inicial o número de plântulas emergidas no último dia da avaliação do número médio de dias para emergência, após a estabilização. Os valores foram convertidos para plantas por hectare.

5.11 População final de plantas

A população final foi obtida no mesmo local da contagem do número médio de dias para emergência, realizada no dia da colheita. Os valores foram convertidos em plantas por hectare.

5.12 Altura de inserção da espiga, altura de plantas e diâmetro do colmo

Avaliou-se a altura de inserção da espiga viável com o uso de trena graduada em milímetros, medindo-se do nível do solo até o ponto de inserção da mesma. Para a variável altura de plantas, mediu-se do nível do solo até o ponto de inserção da folha bandeira (Figura 16a), enquanto que o diâmetro do colmo foi obtido com o uso de paquímetro digital com precisão de 0,1 mm (Figura 16b). Foram realizadas 2 medições em diferentes épocas durante o ciclo da cultura aos 90 e 120 dias. Obteve-se o diâmetro médio do colmo, devido ao seu formato elíptico, por meio da

medição do maior e menor diâmetro, no internódio situado acima do primeiro nó das raízes adventícias. Os dados de altura de inserção da primeira espiga, altura de plantas e diâmetro do colmo foram obtidos no mesmo local da contagem do número médio de dias para emergência, em cinco plantas seguidas nas duas linhas centrais da parcela (5 plantas por linha).



(a)

(b)

Figura 16. Altura das plantas (a), e diâmetro do colmo (b) aos 120 dias.

5.13 Produtividade de grãos e matéria seca da parte aérea do milho

Para a variável produtividade dos grãos, foram colhidas manualmente as espigas dos seis metros de cada linha, nas duas linhas centrais de cada parcela, após o momento em que a cultura atingiu o ponto de maturação fisiológica e teor de água próximo de 18%. As espigas foram trilhadas em máquina estacionária (Figura 17) e determinou-se a massa de grãos, a qual foi corrigida para 13% de teor de água. Os valores obtidos foram transformados em kg ha^{-1} . A massa de matéria seca foi determinada, após a colheita, recolhendo-se todo o material vegetal encontrado dentro de uma armação metálica de lados iguais ($0,5 \times 0,5 \text{ m}$) com uma área de $0,25 \text{ m}^2$. Essa armação foi lançada ao acaso em cada parcela, o material foi separado e seco em estufa a 70°C por um período de 72 horas, depois de seco esse material foi pesado separadamente e transformados em kg ha^{-1} .



(a)



(b)

Figura 17. Máquina trilhadora estacionária (a), e armação para coleta de massa seca.

5.14 Características da espiga

No momento da colheita foram coletadas 10 espigas aleatoriamente, entre as coletadas para produtividade em cada parcela. Avaliou-se: massa da espiga com palha, sem palha, dos grãos da espiga e sabugo (Figura 18a), comprimento e diâmetro da espiga sem palha (com auxílio do paquímetro digital) (Figura 18b), número de fileiras e número de grãos na fileira da espiga e massa de 1000 grãos (BRASIL, 2009).



(a)



(b)

Figura 18. Balança digital para pesagem das espigas (a), e paquímetro digital para aferições de comprimento e diâmetro.

6 Análise estatística

A averiguação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling, e quando assimétricos foi aplicado transformação Log (x). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o valor do teste F foi significativo a pelo menos 5% de probabilidade, realizou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para a comparação de médias. A análise estatística foi realizada utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área mobilizada foi influenciada pela profundidade do sulco da haste sulcadora de adubo. Já a largura do sulco mostrou significância tanto para haste como para profundidade de trabalho, não ocorrendo o mesmo para a produtividade dos grãos (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância e teste de médias para área mobilizada (AM), largura do sulco (LS) e produtividade (PROD) na operação de semeadura do milho.

Fatores de Variação		AM	LS	PROD
		(cm ²)	(cm)	(t ha ⁻¹)
Tipo de Haste (H)	H1	131	24 b	7,8
	H2	158	27 a	7,7
Profundidade (P)	P7	86 b	22 b	7,6
	P11	151 a	26 a	7,7
	P13	197 a	29 a	8,1
Teste F	H	2,11 ^{NS}	10,48 *	0,05 ^{NS}
	P	12,62 *	17,72 *	0,93 ^{NS}
	H x P	0,77 ^{NS}	1,94 ^{NS}	0,70 ^{NS}
DMS	H	38,93	1,84	0,63
	P	58,13	2,75	0,94
CV (%) ⁽¹⁾		30,93	8,21	9,34

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P ≤ 0,05); CV: coeficiente de variação (%).

Na operação de semeadura ocorreu diferença entre as profundidades de atuação das hastes sulcadoras quanto à área de solo mobilizado. Observou-se que à medida que aprofundou-se a haste até 11 cm, maior foi a área mobilizada (p ≤

0,05). A P11 e P13 foram superiores a P7, porém não diferiram entre si, tendo volume de solo mobilizado de 76,5 e 130,8% maior que a P7 respectivamente. É interessante notar que a partir da profundidade intermediária não ocorre aumento significativo da área mobilizada, denotando que existe uma profundidade máxima de trabalho da haste, ou seja, uma profundidade crítica. Segundo Godwin e O'dogherty (2007), o ângulo de inclinação da haste e as características do solo, tais como teor de água, grau de compactação e resistência à penetração, também interferem na forma em que o solo é rompido e mobilizado e, conseqüentemente, podem afetar a profundidade crítica.

Com relação às profundidades de trabalho, é interessante notar que ao calcular a área mobilizada teórica (largura e profundidade) observa-se que, as hastes apresentaram nas profundidades trabalhadas área mobilizada calculada do campo de 9,07; 6,89 e 5,25% maior que a teórica, nas P7, P11 e P13 respectivamente (78; 141 e 188 da teórica, versus 86; 151 e 197 cm² da calculada), isso significa dizer que ocorreu maior mobilização do solo do que deveria, decrescendo percentualmente à medida que a profundidade foi aumentando. Dessa forma, torna-se importante a definição da profundidade crítica (máxima) e também da profundidade mínima de trabalho de hastes de semeadoras-adubadoras. No caso em questão, a haste está mobilizando o solo próximo do adequado, e pode melhorar o seu desempenho ainda mais, com ajustes na regulagem e teor de água do solo no dia da semeadura

Cepik et al. (2010) compararam profundidades de sulcação (6 e 12 cm) em doses de resíduos no solo, e também constataram a dificuldade geral de regulagem da profundidade do sulcador de adubo, alcançando valores diferentes da teoria utilizando semeadora-adubadora de três linhas (6,5 e 11,5 cm, respectivamente). Silveira et al. (2011), verificaram que as hastes sulcadoras tendem a se aproximar da superfície, mesmo quando ajustados para colocar o fertilizante a profundidades predeterminadas.

Observou-se que a haste H2 (largura de 27 cm) apresentou maior largura do sulco ($p \leq 0,05$), quando comparada com a H1 que atingiu largura de 24 cm (Tabela 4). Este comportamento pode ser explicado, devido à maior largura da ponteira na haste H2. Quando verificado as profundidade do sulco, novamente a P7 obteve

menor largura de sulco (22 cm), em relação a P11 e P13, as quais alcançaram respectivamente, 26 e 29 cm.

De posse dos resultados para área mobilizada, largura e profundidade de trabalho, verifica-se que a largura da ponteira tem influência direta no rompimento vertical do solo, ou seja, pode-se inferir que a mesma pode delimitar a profundidade máxima de trabalho da haste, que no caso do presente estudo foi mais adequada para a haste H2.

A produtividade dos grãos não foi influenciada pelos fatores em estudo ($P > 0,05$) (Tabela 4). Estes resultados e novas pesquisas são importantes para mostrar se realmente é melhor mobilizar mais o solo ou não, favorecendo o desenvolvimento radicular, e conseqüentemente a produtividade final. Conte et al. (2009), também não verificaram significância para produtividade do milho, quando trabalharam com dose de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo, na presença de irrigação suplementar.

No entanto, alguns estudos mostram que o uso de mecanismos sulcadores tipo haste, em vez de discos duplos, aumentam a profundidade do sulco e a área de solo mobilizado (MION; BENEZ, 2008). De acordo com Silveira et al. (2011), no plantio direto, os nutrientes tendem a se concentrar na superfície do solo. Sulcadores do tipo haste permitem a colocação de fertilizantes em maiores profundidades, o que pode induzir o crescimento das raízes mais profundamente no solo e, deste modo, reduzir os efeitos da compactação sobre o crescimento das plantas.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de ANOVA e teste de médias para as variáveis de demanda de tração do conjunto trator-semeadora-adubadora. Nota-se que houve interação entre as hastes e profundidades para força (FM) e potência média (PM) na barra de tração ($p \leq 0,05$). Para força pico (FP) e potência pico (PP) ocorreu diferença isoladamente para hastes e profundidades. A haste H2 apresentou menor exigência de FP e PP, (14,27 kN e 23,78 kW) respectivamente, ainda para as mesmas variáveis, a força e potência pico para profundidades P11 e P13 foram maiores que P7.

Tabela 5. Análise de variância e teste de médias para força média (FM), força pico (FP), potência média (PM) e potência pico (PP) na barra de tração na operação de semeadura do milho.

Fatores de Variação		FM	FP	PM	PP
		(kN)		(kW)	
Tipo de Haste (H)	H1	13,39	15,60 a	22,03	26,00 a
	H2	12,59	14,27 b	21,03	23,78 b
Profundidade (P)	P7	13,06	13,74 b	21,81	22,92 b
	P11	13,07	15,61 a	21,82	26,02 a
	P13	12,85	16,61 a	21,45	27,69 a
Teste F	H	2,13 ^{NS}	6,33 *	2,13 ^{NS}	6,35 *
	P	0,07 ^{NS}	21,21 *	0,07 ^{NS}	21,26 *
	H x P	13,11 *	0,21 ^{NS}	13,11 *	0,23 ^{NS}
DMS	H	1,16	1,12	1,93	1,87
	P	1,73	1,68	2,88	2,79
CV (%) ⁽¹⁾		10,24	8,65	10,24	8,64

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); CV: coeficiente de variação (%).

O resultado encontrado para força de tração média na barra por linha de semeadura foi de 3,25 kN. Para os valores da H1 (3,3 e 2,9 kN linha⁻¹; P11 e P13 respectivamente) e H2 (2,7 e 3,2 kN linha⁻¹; P7 e P11 respectivamente), os mesmos não excederam os recomendados pela Asae (2003) que têm como valor de referência para projetos, 3,4 kN linha⁻¹ de esforço demandado na barra de tração. Silveira et al. (2011) encontraram valores inferiores (2,42 a 2,61 kN), quando variaram a velocidade de deslocamento e profundidade do sulco. Valores menores também foram encontrados por Kamimura et al. (2009), trabalhando com semeadora-adubadora com atuação do sulcador de adubo em duas profundidades (6 e 12 cm), observaram que a força de tração foi pelos tratamentos, com médias de 0,8 e 1,4 kN, nas respectivas profundidades.

Observando a Figura 19, nota-se redução da força de tração e potência na barra com o aumento da profundidade de operação da haste H1, entre as profundidades P7 e P13, ocorrendo o contrário para H2. Quando a profundidade de trabalho aumentou de 7 para 13 cm, a exigência da máquina diminuiu 23,6% para H1 e aumentou 29% para H2. Nota-se que devido à maior espessura da haste e da ponteira da H2, esta exigiu maior força que a haste H1 que apresenta maior ângulo e menor espessura.

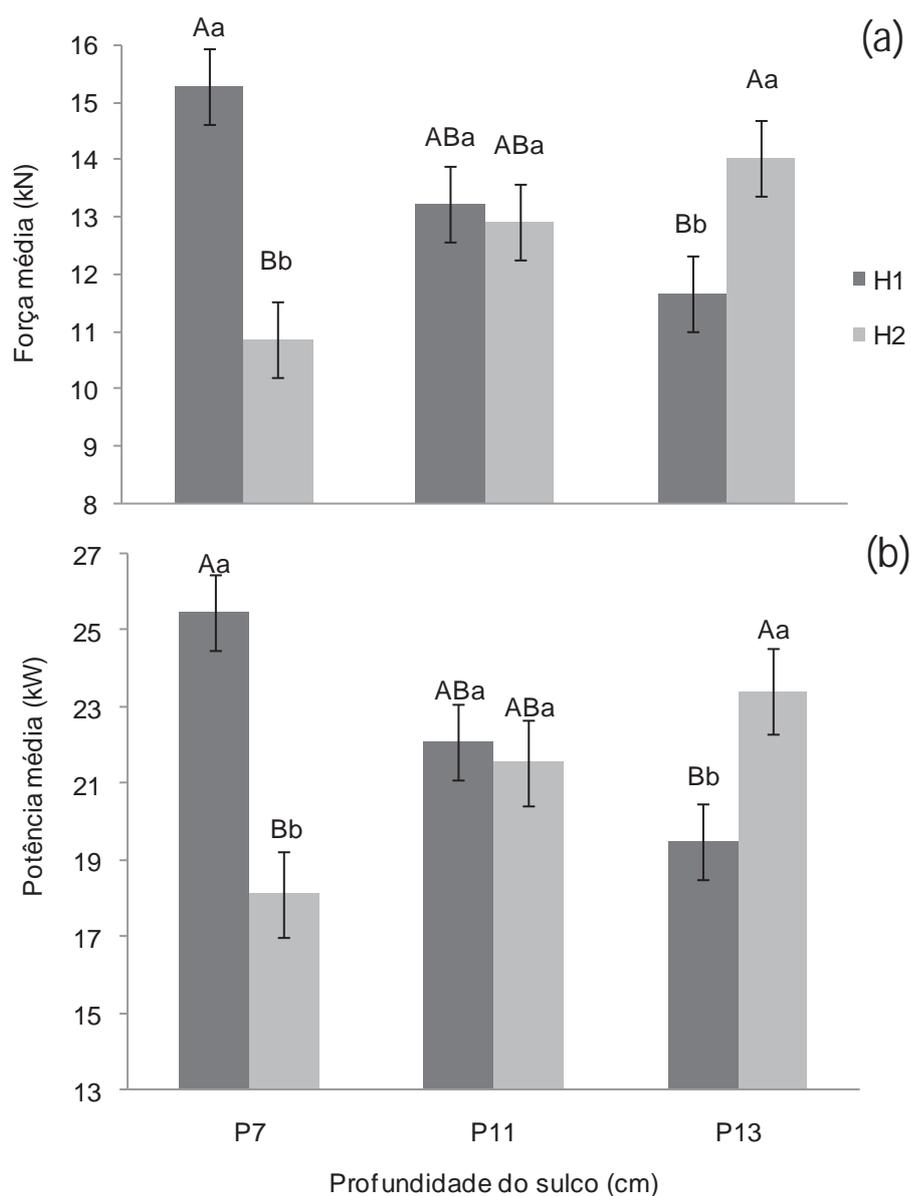


Figura 19. Valores médios obtidos do desdobramento para força (FM) (a) e potência média (PM) (b) na barra de tração na operação de semeadura do milho.

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferem cada haste nas três profundidades e minúsculas as hastes na mesma profundidade; H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente).

Vale ressaltar que o esperado era que aumentasse a demanda de tração com o aprofundamento da haste no solo, no entanto, pode-se explicar o ocorrido para a haste H1, quando se observam os valores de força específica (FE), pico específica

(FPE), potência específica (PE) e pico específica (PPE) (Tabela 6), verificando que provavelmente deve ter demandado força e potência específica maior que H2, podendo ainda, estar relacionada diretamente com o ângulo de inclinação e espessura de corte da haste, os quais restringiram a mobilização desta. Bonini et al. (2008), verificaram que à medida que ocorreu variação na profundidade de sulcamento e na velocidade de deslocamento, ocorreu aumento da força média por linha para as culturas do milho e da soja. Além disto, realizaram trabalhos junto a agricultores e identificaram que as semeadoras-adubadoras utilizadas no plantio direto têm apresentado problemas de desempenho em solos com altos teores de argila, como no presente trabalho.

Tabela 6. Análise de variância e teste de médias para força média específica (FE) força pico específica (FPE), potência média específica (PE) e potência pico específica (PPE) na operação de semeadura do milho.

Fatores de Variação		FE	FPE	PE	PPE
		(N cm ⁻²)		(W cm ⁻²)	
Tipo de Haste (H)	H1	117,07	126,85	195,51	211,43
	H2	98,10	111,01	163,83	185,01
Profundidade (P)	P7	158,83 a	167,29 a	265,25 a	279,07 a
	P11	92,53 b	110,71 b	154,53 b	184,52 b
	P13	71,38 b	93,40 b	119,22 b	155,66 b
Teste F	H	2,72 ^{NS}	1,62 ^{NS}	2,72 ^{NS}	1,62 ^{NS}
	P	20,94 *	7,98 *	20,95 *	7,98 *
	H x P	2,64 ^{NS}	0,04 ^{NS}	2,64 ^{NS}	0,04 ^{NS}
DMS	H	24,54	26,56	40,97	44,27
	P	36,64	39,67	61,19	66,11
CV (%) ⁽¹⁾		26,21	25,67	26,21	25,67

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P ≤ 0,05); CV: coeficiente de variação (%).

Os resultados obtidos para exigência de força e potência média específica da semeadora-adubadora (FE e PE), ou seja, a força e potência na barra de tração demandada pelas hastes sulcadoras relacionadas à área da secção transversal do sulco mobilizado (Tabela 6), foram influenciados pelas profundidades utilizadas, com resultados parecidos aos discutidos para a FM e PM, mais de forma contrária, apresentando-se maior na P7, e menor e igual para P11 e P13. Isso significa que o aumento da profundidade de atuação do sulcador no solo, implicou em diminuição na demanda de energia por secção de solo mobilizado no sulco. Para confirmar tais afirmações, observou-se que o aumento da profundidade de P7 para P11 ocasionou diminuição de 42% da FE e PE e 27,5% para FPE e PPE.

Trabalhando em Argissolo Vermelho, Conte et al. (2009), atribuíram o aumento nos esforços de tração demandada pela haste sulcadora de semeadora-adubadora à compactação causada pelo tráfego por quatro anos. Concluíram também, que a maior profundidade do sulco da semeadora-adubadora e a localização do sulco sob o tráfego dos rodados do trator demandam maior força de tração e força de tração específica, o que está em parte de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho. Conte et al. (2011), estudaram o índice de mobilização do solo e verificaram que a eficiência de mobilização, foi maior no Latossolo do que no Argissolo. Neste último tipo de solo, quando as hastes operaram a mais de 12 cm de profundidade, ocorreu perda de eficiência na mobilização do solo. E concluíram também, que a mobilização do solo é um eficiente indicador tanto do desempenho de hastes, quanto no desenvolvimento da cultura em sistemas plantio direto.

A tabela 7 apresenta os resultados do consumo horário e operacional de combustível, os quais apresentaram diferença isoladamente para o fator hastes e para a interação ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos.

Tabela 7. Análise de variância e teste de médias para consumo horário (Ch) e consumo operacional (Co) de combustível na operação de semeadura do milho.

Fatores de Variação		Ch (L h ⁻¹)	Co (L ha ⁻¹)
Tipo de Haste (H)	H1	8,13	5,02
	H2	7,31	4,51
Profundidade (P)	P7	7,72	4,77
	P11	7,87	4,86
	P13	7,57	4,67
Valor de F	H	20,23 *	20,35 *
	P	0,90 ^{NS}	0,91 ^{NS}
	H x P	18,63 *	18,63 *
DMS	H	0,39	0,24
	P	0,58	0,36
CV (%) ⁽¹⁾		5,82	5,81

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); CV: coeficiente de variação (%).

Na Figura 20, observa-se o desdobramento das variáveis consumo horário e operacional de combustível. A operação de semeadura com a haste H1 apresentou maior consumo de combustível nas profundidades P7 e P11 e menor na maior profundidade P13. Já a haste H2 apresentou comportamento inverso, com consumo menor na profundidade P7, aumentando nas demais profundidades. Apesar de a haste H1 apresentar redução do consumo de combustível, pode-se associar o fato ao não aprofundamento adequado da haste no solo, desfavorecida por suas dimensões.

Diferente deste trabalho, Levien et al. (2011) não encontraram diferenças no consumo de combustível, quando trabalharam com hastes na profundidade de 0,10

m em Nitossolo Vermelho, com valores mais altos do que o encontrado na presente pesquisa, com consumo horário de $11,34 \text{ L h}^{-1}$, e operacional de $5,64 \text{ L ha}^{-1}$.

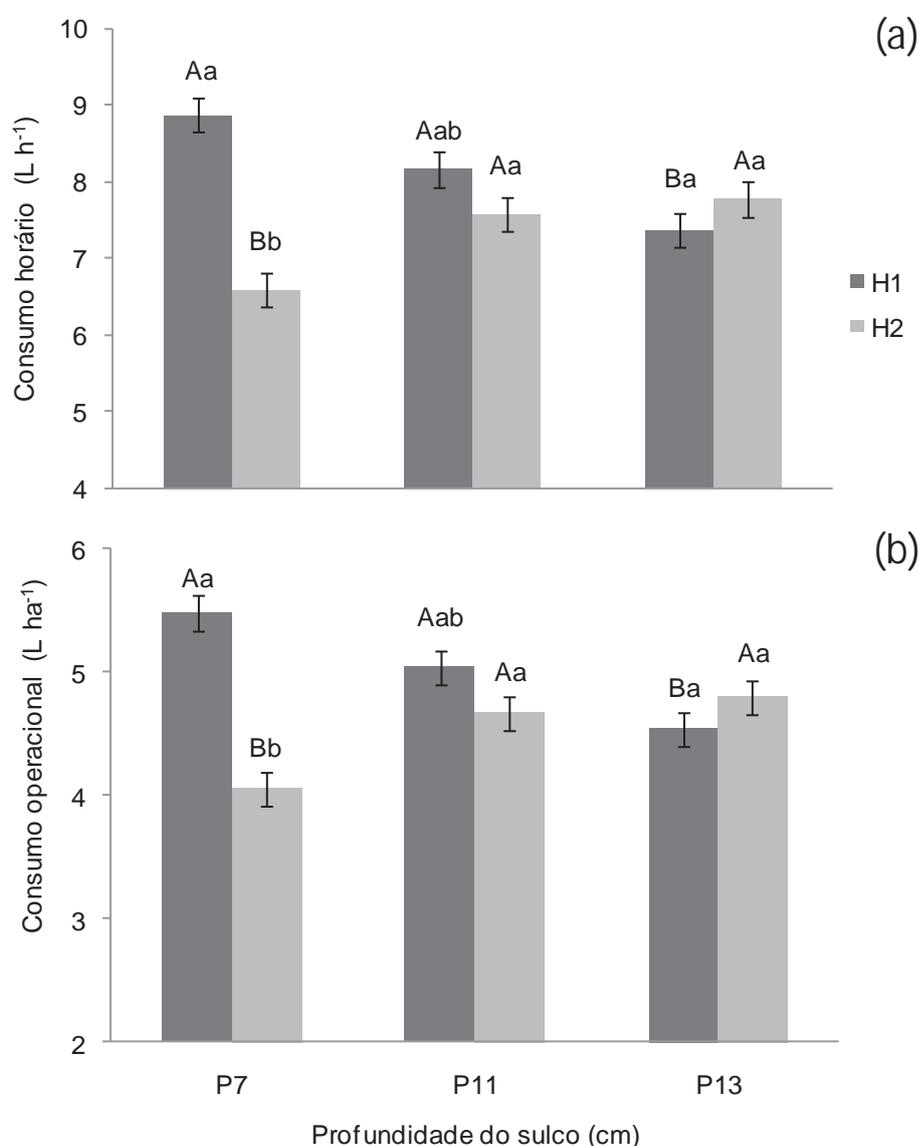


Figura 20. Valores médios obtidos do desdobramento para consumo horário (Ch) (a) e consumo operacional (Co) (b) na operação de semeadura do milho. ⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferem cada haste nas três profundidades e minúsculas as hastes na mesma profundidade; H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente).

Na Tabela 8 são apresentados os valores de distribuição longitudinal de plântulas após a operação de semeadura do milho, sendo significativos pelo teste de Tukey, apenas para interação do espaçamento falho ($p \leq 0,05$) e para o fator hastes no espaçamento duplo ($p \leq 0,05$). Observa-se ainda que, a porcentagem de distribuição normal não apresentou diferença nos tratamentos utilizados ($p > 0,05$), e foi próxima de 60% em todos os tratamentos, indicando que o mecanismo dosador de sementes da semeadora-adubadora apresentou distribuição regular, de acordo com os resultados de Santos et al. (2011), que trabalharam com semeadora-adubadora de precisão, obtiveram desempenho regular com 73,26 e 65,76% de espaçamentos aceitáveis para as velocidades de 4,58 e 5,94 km h⁻¹, respectivamente.

Tabela 8. Síntese da análise de variância para a distribuição longitudinal de plântulas de milho nos espaçamentos normal, falho e duplo.

Fatores de Variação		% de espaçamentos entre plântulas		
		Normal	Falho	Duplo
Tipo de Haste (H)	H1	64	21	15 b
	H2	59	21	20 a
Profundidade (P)	P7	59	23	18
	P11	61	21	18
	P13	65	19	16
Valor de F	H	4,16 ^{NS}	0,12 ^{NS}	8,59 [*]
	P	1,45 ^{NS}	3,10 ^{NS}	0,45 ^{NS}
	H x P	1,72 ^{NS}	5,41 [*]	1,13 ^{NS}
DMS	H	5,75	3,02	3,63
	P	8,60	4,51	5,42
CV (%) ⁽¹⁾		10,69	16,57	24,26

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo ($P > 0,05$); ^{*}: significativo ($P \leq 0,05$); CV: coeficiente de variação (%).

Os resultados corroboram com o estudo de Silva e Silveira (2002), os quais concluíram que o percentual de espaçamento entre sementes, por categoria de espaçamento, sofreu variação conforme a velocidade de operação, e não apresentou diferença significativa em função da profundidade de adubação, sendo que a menor velocidade teve o maior percentual de espaçamentos aceitáveis e, portanto os menores espaçamentos duplos e falhos. Para a variável espaçamentos falhos houve interação significativa, sendo apresentado seu desdobramento na Figura 21.

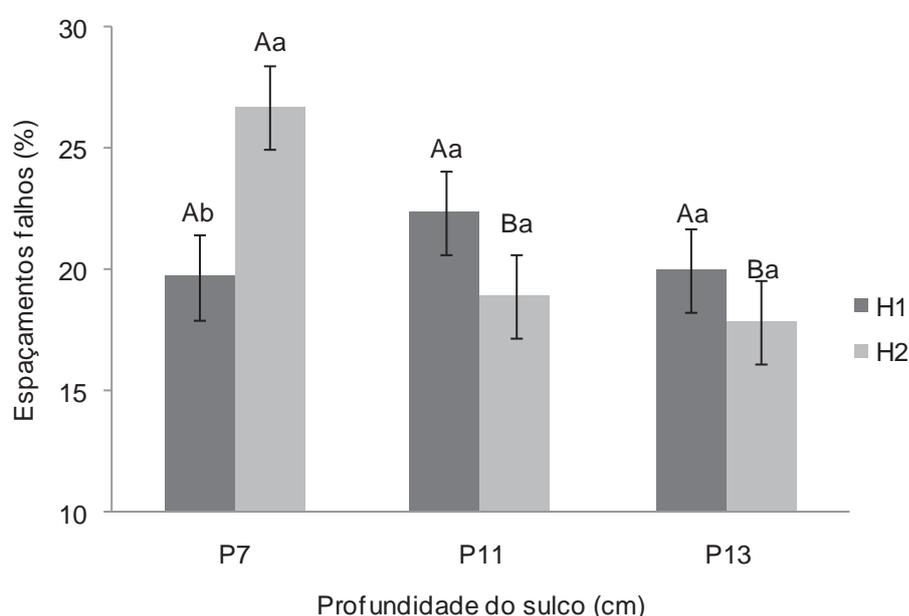


Figura 21. Valores médios obtidos do desdobramento para o percentual de espaçamentos falhos entre plântulas de milho. ⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferem cada haste nas três profundidades e minúsculas as hastes na mesma profundidade; H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente).

A haste com ângulo de ataque de 27° (H1) apresentou maior porcentagem de espaçamentos falhos na profundidade P7, em relação as profundidades P11 e P13, e como consequência menor população inicial, quando comparado aos outros tratamentos. Já na profundidade P11 e P13, a haste de H2 apresentou menor

porcentagem de espaçamentos falhos, diferindo estatisticamente da haste com ângulo de ataque de 29° (H2).

Segundo Tourino, Rezende e Salvador (2002), estudos apontam a uniformidade de distribuição longitudinal de sementes como uma das características que mais contribuem para população adequada de plantas e, conseqüentemente, para a melhoria da produtividade da cultura.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de população inicial, final e número médio de dias para emergência das plântulas de milho. Para a variável população inicial de plantas observa-se diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F, para a interação entre hastes e profundidades utilizadas. No entanto, para a população final não ocorreu diferença entre os fatores em estudo (Tabela 9). Mahl (2006) também não verificou diferença estatisticamente significativa para esta variável.

Tabela 9. Síntese da análise de variância para número médio de dias para emergência de plântulas (NMDE), população inicial (PI) e população final (PF) da cultura do milho.

Fatores de Variação		NMDE	PI	PF
		-	(plantas ha ⁻¹)	
Tipo de Haste (H)	H1	5,25 b	75.000	70.988
	H2	5,63 a	73.765	71.296
Profundidade (P)	P7	5,44	70.602	69.907
	P11	5,50	76.273	71.875
	P13	5,38	76.273	71.644
Valor de F	H	9,00 *	1,06 ^{NS}	0,04 ^{NS}
	P	0,33 ^{NS}	9,95 *	0,68 ^{NS}
	H x P	0,33 ^{NS}	6,47 *	3,36 ^{NS}
DMS	H	0,27	2.554,9	3.200,4
	P	0,40	3.815,3	4.779,2
CV (%) ⁽¹⁾		5,63	3,95	5,17

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P ≤ 0,05); CV: coeficiente de variação (%).

O número médio de dias para emergência de plântulas, apresentou diferença para o fator haste, com emergência mais rápida para haste H1 (Tabela 9). Altuntas et al. (2006), avaliando o efeito de três tipos de mecanismos sulcadores, afirmaram que as características de uma haste influenciam na germinação e emergência das culturas em diferentes condições de solo. Os autores complementam que o formato da haste sulcadora necessita de fatores que afetem no seu desempenho favorecendo a qualidade da operação.

Observa-se no desdobramento da população inicial na Figura 22, que todas as profundidades e hastes utilizadas foram iguais estatisticamente entre si, exceto para haste H2 na profundidade P7 (67.130 plantas ha⁻¹), que apresentou menor população quando comparado com as outras profundidades e também com a haste

H1. Isto está diretamente relacionado à porcentagem de espaçamentos falhos encontrado no mesmo tratamento, haste H2 na profundidade P7.

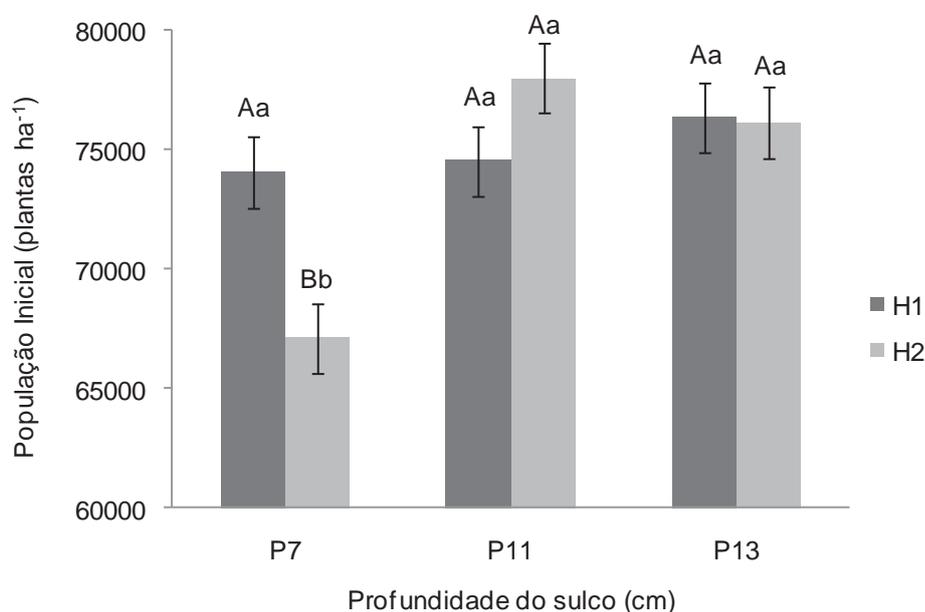


Figura 22. Valores médios obtidos do desdobramento da população inicial de plântulas de milho. ⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferem cada haste nas três profundidades e minúsculas as hastes na mesma profundidade; H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente).

Nas Tabelas 10 encontram-se os resultados da análise de variância, para a variável altura de planta aos 90 e 120 dias e diâmetro do colmo aos 120 dias, onde se verificou diferença ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F para o fator profundidade do sulco. Já as variáveis, diâmetro do colmo aos 90 dias, altura da espiga aos 120 dias e relação entre altura da espiga e altura da planta não ocorreu diferença para os tratamentos utilizados.

Tabela 10. Síntese da análise de variância para altura de planta aos 90 e 120 dias (AP90 e AP120) e diâmetro do colmo aos 90 e 120 dias (DC90 e DC120), altura espiga aos 120 dias (AE120) e relação altura da espiga e altura planta (AE/AP) em plantas de milho.

Fatores de Variação		AP90	AP120	DC90	DC120	AE120	AE/AP
		(cm)					
Tipo de Haste (H)	H1	199	224	2,0	2,2	114	0,51
	H2	198	225	1,9	2,2	119	0,53
Profundidade (P)	P7	185 b	216 b	1,9	2,2 ab	115	0,53
	P11	208 a	229 a	2,0	2,3 a	115	0,50
	P13	203 ab	228 ab	1,9	2,1 b	119	0,52
Valor de F	H	0,05 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,62 ^{NS}	2,04 ^{NS}	1,87 ^{NS}
	P	5,48 *	4,17 *	0,70 ^{NS}	3,89 *	0,54 ^{NS}	1,44 ^{NS}
	H x P	1,38 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,78 ^{NS}	1,13 ^{NS}	0,42 ^{NS}
DMS	H	13,0	9,1	0,14	0,14	8,08	0,03
	P	19,5	13,6	0,22	0,21	12,06	0,05
CV (%) ⁽¹⁾		7,55	4,68	8,53	7,37	7,99	7,08

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); CV: coeficiente de variação (%).

A altura das plantas e o diâmetro do colmo das plantas não foram influenciados pelo tipo de haste, porém, as profundidades testadas interferiram na altura das plantas aos 90 e 120 dias. A altura da planta nos dois períodos de avaliação apresentou maior valor na profundidade P11 (208 e 229 respectivamente), que por sua vez não diferiu da P13 (Tabela 10). Fato este, relacionado à maior área mobilizada nas profundidades maiores, a qual pode estar influenciando na descompactação do solo e pela maior disponibilização dos nutrientes no solo.

O diâmetro do colmo também foi influenciado isoladamente pelo fator profundidade aos 120 dias (Tabela 10). Geralmente até aos 90 dias, existe maior

acúmulo de água e nutrientes no colmo da planta, e conforme a mesma atinge o final do ciclo, o colmo se desidrata e o diâmetro do colmo tende a diminuir.

A altura de inserção da primeira espiga viável e a relação altura espiga/altura planta não apresentaram diferença para os tratamentos estudados, demonstrando a uniformidade da cultura no campo, o que segundo os melhoristas, isto se deve ao fator genético das plantas.

Na Tabela 11 encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis: massa da espiga com e sem palha, massa de grãos da espiga e sabugo de milho, onde verificou-se que os fatores estudados não interferiram nos resultados dos parâmetros avaliados.

Tabela 11. Síntese da análise de variância para massa da espiga com palha (MECP), massa da espiga sem palha (MESP), massa dos grãos da espiga (MGE), e massa do sabugo (MS) do milho.

Fatores de Variação		MECP	MESP	MGE	MS
		(g espiga ⁻¹)			
Tipo de Haste (H)	H1	186,2	164,4	126,0	38,4
	H2	191,2	166,6	133,9	32,7
Profundidade (P)	P7	193,0	170,5	134,4	36,2
	P11	184,6	157,3	127,3	30,0
	P13	188,4	168,7	128,2	40,5
Valor de F	H	0,17 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1,42 ^{NS}	0,66 ^{NS}
	P	0,17 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,76 ^{NS}
	H x P	0,71 ^{NS}	1,07 ^{NS}	2,36 ^{NS}	0,26 ^{NS}
DMS	H	25,20	22,31	14,04	14,78
	P	37,63	33,32	20,97	22,07
CV (%) ⁽¹⁾		15,35	15,49	12,42	47,78

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P ≤ 0,05); CV: coeficiente de variação (%).

Para as variáveis comprimento e diâmetro das espigas, número de fileiras, número de grãos por fileira da espiga, massa de 1000 grãos, e massa seca da palhada, também não se observou significância para os fatores testados através da análise de variância (Tabela 12).

O fato das profundidades de trabalho e dos ângulos de ataque não influenciarem as características da espiga da planta, pode estar relacionado principalmente a fatores genéticos da cultivar utilizada, e também da compensação do desenvolvimento da espiga, mesmo quando a profundidade do adubo foi alterada e também a mobilização do solo, além disto a homogeneidade da área e a distribuição pluviométrica de forma regular, também podem ter contribuído para a proximidade dos tratamentos durante o ciclo da cultura.

Tabela 12. Síntese da análise de variância para comprimento da espiga (CE), e diâmetro espiga (DE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), massa de 1000 grãos (M1000G), e massa seca da palhada (MS).

Fatores de Variação		CE	DE	NFE	NGF	M1000G	MS
		(cm)		-	-	(g)	(t ha ⁻¹)
Tipo de Haste (H)	H1	14,0	4,8	14,0	31,3	277,1	9,7
	H2	14,4	4,8	13,5	32,0	268,7	10,1
Profundidade (P)	P7	14,1	4,8	13,8	32,2	274,3	10,1
	P11	14,4	4,8	13,2	30,6	276,7	9,3
	P13	14,0	4,9	14,2	32,2	267,7	10,3
Valor de F	H	0,54 ^{NS}	0,07 ^{NS}	1,96 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,92 ^{NS}	0,27 ^{NS}
	P	0,29 ^{NS}	0,49 ^{NS}	2,41 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,58 ^{NS}
	H x P	0,11 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,59 ^{NS}	2,49 ^{NS}	1,51 ^{NS}	3,16 ^{NS}
DMS	H	10,13	0,16	0,76	2,83	18,58	1,60
	P	15,12	0,24	1,14	4,22	27,74	2,39
CV (%) ⁽¹⁾		8,21	3,86	6,38	10,26	7,82	18,57

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade. H1 e H2: haste de 29° e 27°, respectivamente; P7, P11 e P13: profundidade do sulco (7, 11 e 13 cm respectivamente); ^{NS}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P ≤ 0,05); CV: coeficiente de variação (%).

Hanway (1966), também estudando os componentes da produtividade de grãos de milho, concluiu que os mesmos são definidos durante o desenvolvimento da planta. Assim, o número de espigas por planta é definido quando as plantas apresentam cerca de cinco folhas expandidas. O número de fileiras por espiga é definido quando a planta apresenta de oito a 12 folhas expandidas (aproximadamente um mês após a emergência da plântula). O número de grãos por fileira é afetado pelo tamanho da espiga, o qual é definido a partir das 12 folhas até a fecundação.

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), os valores de número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira estão associados a fatores genéticos, mas o

manejo da cultura exerce influência sobre os mesmos. Corroborando com estes resultados, Tollenaar e Wu (1999), observaram que a elevação da produtividade de grãos é atribuída às mudanças nas práticas culturais, ao melhoramento genético, às alterações climáticas e à interação entre esses três fatores.

V CONCLUSÕES

As profundidades e os tipos de hastes influenciaram na força e potência na barra de tração e no consumo de combustível do conjunto trator-semeadora-adubadora, com melhor desempenho para a haste de 27°.

As hastes avaliadas proporcionaram profundidades de sulcação inferiores do esperado.

A mobilização do solo foi influenciada somente pela profundidade de trabalho com melhor comportamento para as profundidades 11 e 13 cm.

Os tipos de hastes e as profundidades de deposição de adubo, não influenciaram nos componentes de produtividade da cultura do milho.

VI REFERÊNCIAS

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

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 08, p. 1101-1110, 2007.

AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catariense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p.411-418, 2009.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. **Anais...**, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM).

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

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, v. 4,n. 1-2, p. 27-34, 2003.

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Soil cone penetrometer. In: ASAE, **Standard S313.2**. St. Joseph, 1998.

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: ASAE, **Standards 2003**: standards engineering practices data. St. Joseph, 2003. p. 373-380.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BARUT, Z. B.; ERTEKIN, C.; KARAAGAC, H. A. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. **Energy**, v. 36, n. 9, p. 5466-5475, 2011

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.133-142, 2007.

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

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; ROSATTO, H.; FERRERO, C. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 1, p. 9-14, 2006.

BOTTA, G. F.; TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; LASTRA-BRAVO, X.; RIVERO, D.; Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 120, p. 92-98, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS. p. 157-162. 2009.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.789-796, 2005.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 333-370, 2007.

CASTELLINI, M.; VENTRELLA, D. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 47-56, 2012.

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

CHANCELLOR, W. J. Soil physical properties. In: CHANCELLOR, W. J. (Coord.). **Advances in soil dynamics**. Saint Joseph: ASAE, 1994. p. 21-254.

CIB - Conselho de Informações Sobre Biotecnologia, 2012. Disponível em: www.cib.org.br. Acesso em: 13 dezembro de 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento**, janeiro 2013. – Brasília: Conab, 2013.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H.; STÜRMER, S. L. K.; MAZURANA, M.; MÜLLER, J. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil and Tillage Research**, v. 114, n. 1, p. 37-42, 2011.

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

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização do solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1254-1261, 2009.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C. Produção de massa por culturas implantadas em rotação no sistema de plantio direto de soja e milho. **Plantio Direto**, p. 32-35, 2008.

DI NASSO, N. N. O.; BOSCO S.; DI BENE, C.; COLI, A.; MAZZONCINI, M.; BONARI, E. Energy efficiency in long term Mediterranean cropping systems with different management intensities. **Energy**, v. 36, n. 4, p. 1924-1930, 2011.

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

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. L. The effects of temperature, sand and soil acetone on germination of okra seed. **Proceeding of America Society Horticulture Science**, v. 71, p. 428-34, 1958.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

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

EVANS, L. T.; FISCHER, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, v. 39, p. 1544-1551, 1999.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Porto Alegre: Agropecuária, 2000. 360 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

AGRIANUAL 2012: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2012. 480 p.

GARCIA, S. M.; RIGHES, A. A. Vertical mulching e manejo da água em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 833-842, 2008.

GODWIN, R. J.; O'DOGHERTY, M. J. Integrated soil tillage force prediction models, **Journal of Terra mechanics**, v. 44 n. 1, 3-14, 2007.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. Soil failure with narrow tines failure. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 22, p. 213-218, 1978.

HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, v. 55, n. 5, p. 487-492, 1966.

KAMIMURA, K. M.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Parameters of soil-machine in function of the amount of cover residues and different fertilizer deposition depths in direct drilling. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 431-439, 2009.

KHAKBAZAN, M.; MOHR, R. M.; DERKSEN, D. A.; MONREAL, M. A.; GRANT, C. A.; ZENTNER, R. P.; MOULIN, A. P.; MCLAREN, D. L.; IRVINE, R. B.; NAGY, C. N. Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheatepea cropping system in the Canadian prairies. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 30-38, 2009.

KHALEDIAN, M. R.; MAILHO, J. C.; RUELLE P.; MUBARAK I.; PERRET, S. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 218-226, 2010.

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**, v. 42 n. 5, p. 725-731, 2007.

KOLAWOLE, O. D. Soils, science and the politics of knowledge: How African smallholder farmers are framed and situated in the global debates on integrated soil fertility management. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 470-484, 2013.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. D.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, n. 2, p. 249-62, 1989.

LEVIEN, R.; FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; CONTE, O.; CAVICHIOLI, F. A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1003-1010, 2011.

LING-LING, L.; GAO-BAO, H.; REN-ZHI, Z.; BELLOTTI, B.; LI, G.; CHAN, K. Y. Benefits of Conservation Agriculture on Soil and Water Conservation and Its Progress in China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 10, n. 6, p. 850-859, 2011.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. 2009. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/boletinstecnicos.aspx>>. Acesso em: 26 abril de 2011.

LÓPEZ-FANDO, C.; PARDO, M. T. Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen. **Soil and Tillage Research**, v. 118, p. 32-39, 2012.

MAHL, D. **Desempenho de semeadora em função de mecanismo de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho**. 2006. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MAHL, D. **Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto**. 2002. 160f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

MEKI, M. N.; SNIDER, J. L.; KINIRY, J. R.; RAPER, R. L.; ROCATELI, A. C. Energy sorghum biomass harvest thresholds and tillage effects on soil organic carbon and bulk density. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 172-182, 2013.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 563-567, 2003.

MESCHEDE, D. K. Relações entre o uso de herbicidas e sustentabilidade. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Manejo sustentável na agricultura é discutido em Workshop na Esalq**. Piracicaba: Potafos, p. 2-4, 2006. (Informações agrônômicas, n. 116).

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

MORAIS, L. F. B.; COGO, N. P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema semeadura direta em um Argissolo Vermelho da Depressão Central (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1041-1051, 2001.

MUZILLI, O. Plantio direto no estado do Paraná. In: **Princípios e perspectivas de expansão**. Londrina: IAPAR, 1981. cap. 1, p. 11-17. (Circular, 23).

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.

RIBEIRO, C. A. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

RUGGIERO, M. A. G.; LÓPES, V. L. R. **Cálculo Numérico**. Aspectos Teóricos e computacionais. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 870-874, 2009.

SANTOS, A. J. M.; GAMERO, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; VILLEN, A. C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 16-23, 2011.

SANTOS, A. P.; TOURINO, M. C. C.; VOLPATO, C. E. S. Qualidade de semeadura na implantação da cultura do milho por três semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1601-1608, 2008.

SILVA, A. R. B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdades de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

SILVA, J. G.; SILVEIRA, P. M. Avaliação de uma semeadora-adubadora na cultura do milho. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 2. Dezembro /2002. EMBRAPA-GO, 2002, 19p.

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/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 293-298, 2011.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Escolha certa. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.1, n.4, p. 15-19, 2004.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TARSITANO, MARIA A. A.; VALDERRAMA, M. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 321-329, 2012.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53, 2004.

TOLEDO, A.; RIBEIRO, C. A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Penetrógrafo eletrônico automático acoplado a quadriciclo para aplicação em agricultura de precisão. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA., 2009, Viçosa. **Anais...** Lavras: SBIAgro, 2009. p. 1-6.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1597-1604, 1999.

TORRES, J. L. R. **Estudo de plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG.** 2003. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p.1071-1077, 2002.

UNGER, P. W.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, v.86, n.4, p.759-66, 1994.

WEIH, M.; DIDON, U. M. E.; RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, A. C.; BJÖRKMAN, C. Integrated agricultural research and crop breeding: Allelopathic weed control in cereals and long-term productivity in perennial biomass crops. **Agricultural Systems**, v. 97, n. 3, p. 99-107, 2008.