

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ATUAÇÃO DE FORÇAS EM HASTES SULCADORAS DE
SEMEADORAS-ADUBADORAS PARA PLANTIO DIRETO**

ROGÉRIO GERMINO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Programa Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP

Junho – 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ATUAÇÃO DE FORÇAS EM HASTES SULCADORAS DE
SEMEADORAS-ADUBADORAS PARA PLANTIO DIRETO**

ROGÉRIO GERMINO

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Programa Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP

Junho - 2004

Para

Manuel Rubens Germino e Maria de Lourdes F. Germino, meus pais

Milene Rodrigues Peres, minha namorada

Dedico

Para

Minha Família, em especial para

Angelina Francisca de Godoy, minha avó

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me mostrou o melhor caminho para seguir e deu-me coragem para conquistar meus objetivos.

A Milene Rodrigues Peres que contribuiu e acompanhou este trabalho desde seu início, pela força nas horas difíceis, companheirismo e ajuda incondicional.

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, pela orientação e confiança nos meus trabalhos, pela amizade e ensinamentos que levarei por toda a vida.

A todos os familiares que sempre deram apoio incondicional para a realização deste curso, Rosângela Aparecida Godoi Fernandes Carneiro e Silvino Oliveira Carneiro, Rosimar Germino Quintilhano e Osvaldo Quintilhano Junior, Rubsmar Germino e Regina Placa Germino, Silvino Oliveira Carneiro Júnior e Otávio Augusto Oliveira Carneiro, a meus sobrinhos Ana Laura Germino Quintilhano, Beatriz Placa Germino e Thiago Placa Germino, à Vanderlei Jose Peres e Mirian de Castro Rodrigues Peres, Fabiana R. Peres e a meus avós José Peres e Eulália Manfio, à Fernando, Jaqueline e Maria Sueli Peres.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu, que sempre me acolheu e depositou confiança em mim, e a coordenação do curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, pela oportunidade de realizar o curso.

Aos amigos do peito Antônio Renan Berchol da Silva e Paulo Roberto Arbex Silva, pela amizade sincera e companheirismo, pelos grandes momentos passados nesta Instituição juntos, meus sinceros agradecimentos.

A CAPES pela ajuda financeira durante o curso, sendo de grande valia para conclusão deste trabalho.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, em especial , Carlos César Breda, Denise Mahl, Emerson Borghi, Miriam Correia dos Santos e ao estagiário Guilherme da Costa Nunes (pela grande ajuda) pela convivência e amizade.

Ao grande amigo José Eduardo Soares Candeias pela força e incentivo que prestou em todos os momentos.

Aos amigos do peito Manuel Lopes dos Santos e Adileia Ana Rosa Breve, pela amizade sincera e por ajudar muito na convivência aqui em Botucatu.

Aos amigos Corá e Luciana pela convivência sempre agradável durante todos esses anos em Botucatu, muito obrigado.

A todos os funcionários das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Produção, em especial à Aparecido Bessa, Acássio Tavares, Luciano Alves, Marcos José Gonçalves, Mário de Oliveira Munhoz, Milton Prudente e Sílvia Conte Stein.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, especialmente a Gilberto Winckler, e Sílvio Scolastici, Maury Torres da Silva, Pedro Alves, Rosângela C. Moreci. A todos aqueles que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Sistema de plantio direto	7
4.2 Semeadoras adubadoras.....	8
4.3 Disco de corte de palha.....	9
4.4 Mecanismo sulcador tipo haste	10
4.5 Demanda de potência	12
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1 Área experimental.....	16
5.2 Delineamento experimental.....	17
5.3 Tratamentos	17
5.4 Solo.....	18
5.5 Densidade do solo.....	19
5.6 Teor de água do solo.....	19
5.7 Massa seca da cobertura vegetal.....	20
5.8 Índice de cone.....	20
5.9 Área de solo mobilizado	20
5.10 Cálculo da profundidade crítica de trabalho.....	21
5.11 Máquinas e equipamentos agrícolas	22
5.11.1 Trator	22
5.11.2 Mecanismos sulcadores	22
5.11.3 Barra porta ferramenta.....	23
5.11.4 Carga sobre a barra porta ferramenta	24
5.11.5 Dinamômetro ortogonal.....	24

5.11.6	Calibração da força horizontal, vertical e lateral e do momento em relação ao eixo Z e Y	25
5.11.7	Sistema de aquisição de dados	26
5.11.8	Sensor de profundidade	27
5.11.9	Forças medidas	28
5.11.9.1	Forças médias	28
5.11.9.2	Força horizontal máxima	28
5.11.9.3	Força vertical máxima	28
5.11.9.4	Força lateral máxima	28
5.11.9.5	Forças médias por área de solo mobilizado	29
5.11.9.6	Força horizontal específica	29
5.11.10	Momentos	29
5.11.10.1	Momentos médios	30
5.11.10.2	Momentos máximos	30
5.11.10.3	Velocidade média de deslocamento	30
5.11.11	Potências	31
5.11.11.1	Potência média	31
5.11.11.2	Potência máxima	31
5.11.11.3	Potência média por área de solo mobilizado	32
5.11.11.4	Potência máxima por área de solo mobilizado	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1	Densidade do solo	34
6.2	Teor de água no solo	34
6.3	Massa seca da cobertura vegetal	35
6.4	Índice de cone	35
6.5	Área de solo mobilizado	36
6.6	Velocidade média de deslocamento	38
6.7	Profundidade de trabalho	38
6.8	Forças medidas	39
6.8.1	Médias da força horizontal (F_x)	39
6.8.2	Médias da força vertical (F_y)	41

6.8.3 Médias da força lateral (F_z).....	42
6.8.4 Força horizontal máxima	44
6.8.5 Força vertical máxima	45
6.8.6 Força lateral máxima	46
6.8.7 Força horizontal média por área de solo mobilizado.....	48
6.8.8 Força horizontal específica média	49
6.9 Médias dos momentos	51
6.9.1 Médias do momento transversal (M_y).....	51
6.9.2 Médias do momento longitudinal (M_z).....	52
6.9.3 Momento transversal (M_y) máximo	54
6.9.4 Momento longitudinal (M_z) máximo	55
6.10 Potência	56
6.10.1 Potência média.....	57
6.10.3 Potência média por área de solo mobilizado	59
7 CONCLUSÕES	61
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental	16
Figura 2. Perfilômetro de varetas.	21
Figura 3. Hastes sulcadoras (esquerda: experimental, direita: comercial)	23
Figura 4. Barra porta ferramentas.....	24
Figura 5. Esquema do dinamômetro ortogonal (Fonte: Mion, 2002).....	25
Figura 6. Dinamômetro ortogonal.	25
Figura 7. Armazenador de dados.....	26
Figura 8. Sensor de profundidade.....	27
Figura 9. Roda do sensor de profundidade.....	27
Figura 10. Quantidade de matéria seca de cobertura presente na área experimental.	35
Figura 11. Médias do índice de cone por tratamento.	36
Figura 12. Variação da velocidade média de deslocamento (m.s^{-1}).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica do solo da área experimental.....	19
Tabela 2. Profundidade crítica de trabalho.....	21
Tabela 3. Dimensões das hastes ensaiadas (mm).	22
Tabela 4. Densidade do solo.....	34
Tabela 5. Teor de água no solo no momento da execução dos trabalhos em campo.	34
Tabela 6. Teor de água no solo no momento da determinação do índice de cone.	36
Tabela 7. Variações da área de solo mobilizado (cm ²) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	37
Tabela 8. Variações da área de solo mobilizado (cm ²) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	37
Tabela 9. Variações médias das profundidades de trabalho (mm).	39
Tabela 10. Variação da força horizontal média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	40
Tabela 11. Variação da força horizontal média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	40
Tabela 12. Variação da força vertical média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	41
Tabela 13. Variação da força vertical média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	42
Tabela 14. Variação da força lateral média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	43
Tabela 15. Variação da força lateral média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	43
Tabela 16. Variação da força horizontal máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	44
Tabela 17. Variação da força horizontal máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	45

Tabela 18. Variação da força vertical máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	45
Tabela 19. Variação da força vertical máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	46
Tabela 20. Variação da força lateral máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	47
Tabela 21. Variação da força lateral máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	47
Tabela 22. Variação da força da força horizontal média ($N.cm^{-2}$) pela área de solo mobilizado (ASM) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	48
Tabela 23. Variação da força da força horizontal média ($N.cm^{-2}$) pela área de solo mobilizado (ASM) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	49
Tabela 24. Variação da força horizontal específica ($N.mm^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	50
Tabela 25. Variação da força horizontal específica ($N.mm^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.....	50
Tabela 26. Variação do momento transversal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	51
Tabela 27. Variação do momento transversal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.....	52
Tabela 28. Variação do momento longitudinal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.....	53
Tabela 29. Variação do momento longitudinal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.....	53
Tabela 30. Variação do momento transversal ($N.m^{-1}$) máximo comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	54
Tabela 31. Variação do momento transversal ($N.m^{-1}$) máximo comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	55

Tabela 32. Variação do momento longitudinal máximo (N.m^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	55
Tabela 33. Variação do momento longitudinal máximo (N.m^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	56
Tabela 34. Variação da potência média (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	57
Tabela 35. Variação da potência média (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	58
Tabela 36. Variação da potência máxima (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	58
Tabela 37. Variação da potência máxima (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	59
Tabela 38. Variação da potência média pela área de solo mobilizado (W.cm^{-2}) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.	60
Tabela 39. Variação da potência média pela área de solo mobilizado (W.cm^{-2}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.	60

1 RESUMO

O sistema de produção agrícola exige tecnologias cada vez mais aperfeiçoadas para seu desenvolvimento sustentável, tendo o sistema plantio direto contribuído diretamente nesse sentido, com o aperfeiçoamento de máquinas e equipamentos que melhor se adaptam as suas condições preliminares de implantação. Nesse quadro, as semeadoras-adubadoras são os equipamentos que sofrem as mais variadas modificações em sua constituição, pois nesse sistema o princípio básico é o revolvimento somente na linha de semeadura, fazendo com que esses equipamentos realizem operações conjugadas associando qualidade e otimização dos recursos disponíveis.

Uma técnica que vem sendo adotada pelos produtores é a substituição (nas semeadoras) dos discos duplos para deposição de adubos pelas hastes sulcadoras em maiores profundidades, com o objetivo de romper as camadas compactadas de solo, adiando assim o uso de escarificadores e subsoladores.

Nesse sentido o presente estudo que foi realizado em condições de campo, com o objetivo de comparar dois modelos de hastes sulcadoras, uma comercial e uma experimental, para semeadoras adubadoras de plantio direto, determinado as forças atuantes e

os momentos (F_x : força horizontal, F_y : força vertical, F_z : força lateral, M_y : momento transversal e M_z : momento longitudinal), variando quatro profundidades de trabalho (130mm, 230 mm, 280 mm e 330 mm) com e sem a utilização de disco de corte de palha.

A haste Experimental apresentou maiores valores de força horizontal média (F_x), força vertical média (F_y), força lateral média (F_z), força horizontal máxima (F_x max), força vertical máxima (F_y max), força média por área de solo mobilizado (F_x/ASM), força horizontal específica (F_x esp.) momento transversal médio (M_y), momento longitudinal médio (M_z), momento transversal máximo (M_y max), momento longitudinal máximo (M_z max) potência média (P_m) e potência máxima (max).

As diferenças apresentadas pelas hastes estão relacionadas com as características construtivas das mesmas, quando se trabalha na profundidade recomendada as hastes não apresentam diferença estatística significativa, mas quando se ultrapassa a profundidade crítica de trabalho as diferenças se acentuam entre alas.

ACTING OF STEM OF FURROW OPENERS FOR DIRECT PLANTING...Botucatu, 2004.

73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROGÉRIO GERMINO

Adviser: SERGIO HUGO BENEZ

2 SUMMARY

The agricultural system demands technologies more and more improved for its sustainable development, and agricultural system called no till has been contributed directly in that sense, with the improvement of machines and equipments that could be used with soil previous coverage. In this way row preparation shank are the equipments that suffer the most varied modifications in your constitution, because the basic concept is to revolve only the furrow, so those equipments have to have conjugated operations in consortium with quality and the improvement of the available resources.

A technique that has been adopted by the farmers is the change (in the furrow openers) of the double disks for fertilizers deposition for a row preparation shank in higher depths. The objective of this change is to break the compacted layers of soil, postponing the usage of subsoiler and chisel plow witch are more expensive operations.

In that sense the present study was accomplish in field conditions, with the objective of comparing two models of preparation shank for no till system, certain the active forcers and moments (F_x : horizontal force, F_y : vertical forces, F_z : lateral force, M_y : traverse moment and M_z : longitudinal moment), varying four work depths (130 mm, 230 mm, 280 mm and 330 mm) with and without the use of soil and residue cut disk.

The experimental row preparation shank showed higher horizontal medium force values (F_x), vertical medium force (F_y), lateral medium force (F_z), horizontal maximum force ($F_x \text{ max.}$), horizontal medium force by disturbed soil area (F_x/DSA), horizontal force by soil depth ($F_x \text{ sd}$) transverse medium moment (M_y), longitudinal medium

moment (M_z), transverse maximum moment ($M_y \text{ max.}$), longitudinal maximum moment ($M_z \text{ max.}$), maximum power ($P \text{ max.}$) e medium power (P_m).

The showed differences (row preparation shank) are related to their building structure. When we worked at the recommended depth the RPS didn't show statistical difference, but when we go under the critical depth the differences showed up.

3 INTRODUÇÃO

No atual quadro agrícola brasileiro, há uma preocupação constante com a conservação dos recursos naturais, fazendo com que a todo momento técnicos e agricultores se empenhem em buscar novas tecnologias que possam atender os requisitos básicos para a formação de uma agricultura sustentável e lucrativa. Um dos métodos mais discutidos na atualidade, que a cada momento se torna mais solidificado e com grande aceitação tanto dos técnicos – pesquisadores, assim como dos agricultores em geral, é o sistema de plantio direto.

O sistema de plantio direto é um sistema onde a semeadura é realizada com revolvimento mínimo do solo, preservando a cobertura vegetal sobre sua superfície (Siqueira et al. , 2001). Por esse motivo essa operação deve ser realizada com o máximo de critérios, pois qualquer erro nesse momento acarretará em perdas irrecuperáveis no desenvolvimento e produtividade das culturas.

Como nesse sistema a semeadora é a única máquina responsável pela mobilização do solo, seus sistemas de abertura de sulco devem apresentar desempenho satisfatório, boa qualidade de semeadura e demanda de potência otimizada.

Esse sistema tem por princípio básico o não revolvimento do solo, devido a isso um problema presente em seu manejo é a compactação do solo, que faz com que os agricultores tenham diminuição gradativa de produtividade ao longo dos anos. Faz-se necessário então, em alguns casos, a utilização de implementos como os subsoladores e escarificadores, que rompem a camada de impedimento, contudo aumentam significativamente o custo da produção, pois demandam elevada potência para seu funcionamento.

As semeadoras existentes no mercado, possuem basicamente dois sistemas de abertura de sulcos para deposição do adubo e das sementes, sendo eles a haste sulcadora e o disco duplo. O uso mais constante do disco duplo se justifica principalmente pela menor mobilização do solo e menor embuchamento de palha no mecanismo sulcador.

Contudo a haste sulcadora tem como vantagem em alguns casos, o rompimento da camada compactada, que no plantio direto ocorre mais superficialmente, podendo melhorar o desenvolvimento vegetativo das culturas.

Nesse sentido o presente estudo teve por objetivo avaliar dois mecanismos sulcadores tipo haste, um comercial e outro desenvolvido pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) utilizados em semeadoras - adubadoras para plantio direto, com e sem a utilização de disco de corte de palha. Analisou-se a atuação de forças e momentos (F_x : força horizontal, F_y : força vertical, F_z : força lateral, M_y : momento transversal e M_z : momento longitudinal), associados ao consumo de combustível e a área de solo mobilizado pelas hastes em quatro profundidades de trabalho.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Sistema de plantio direto

De acordo com Carvalho (2002), plantio direto é uma técnica conservacionista, adotado por agricultores e criadores com preocupações econômicas, sociais e ambientais, estratégico no manejo sustentável de bacias hidrográficas pela conservação da água, do solo e proteção da vegetação. É uma tecnologia pronta para pequenos, médios e grandes produtores.

Segundo Dallmeyer (2001) o sistema foi denominado de “plantio direto” pela Federação de Associações de Plantio Direto na Palha, por ser a nomenclatura popular, embora a operação executada, seja uma semeadura.

Estima-se que as perdas de solos nas propriedades brasileiras, onde predominam os sistemas convencionais de manejo, gire em torno de 25t/ano, entretanto manejos conservacionistas como o cultivo mínimo e o plantio direto, são responsáveis pela redução das perdas de solo de 50 a 90%, respectivamente, sendo que práticas como o plantio

direto são também responsáveis por reduções significativas nas perdas de água, pois propicia maior infiltração no solo (Romano 1997).

Ganssen & Ganssen (1996) comentam que tem ocorrido mudança na visão da sociedade sobre a necessidade de se manter e recuperar os recursos naturais, tendo surgido questionamento sobre a perda de solo por erosão e a poluição da água. Uma das razões para a adoção do plantio direto está relacionada a exigência no mercado internacional por produtos agrícolas obtidos sob condições de menor impacto ambiental, que minimizem perdas de solo e poluição da água.

De acordo com Benez (1972), que estudou os sistemas de preparo de solo, existe uma grande importância de reduzir estas operações, pois os reflexos são percebidos sensivelmente na diminuição da compactação, devido ao menor número de passadas do trator.

Araújo et al. (2001) afirmaram que no sistema de plantio direto é comum a ocorrência de uma camada superficial compactada e que pode, dependendo do nível de compactação, prejudicar o desenvolvimento das plantas.

4.2 Semeadoras adubadoras

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), as semeadoras são classificadas segundo a forma de distribuição de sementes em: semeadoras de precisão e semeadoras de fluxo contínuo. As semeadoras de precisão são máquinas que distribuem as sementes no sulco de semeadura, uma a uma ou agrupadas, em linha e intervalos regulares de acordo com a densidade de semeadura estabelecida. Semeadoras de fluxo contínuo são equipamentos que distribuem de forma contínua as sementes no solo, principalmente sementes miúdas que requerem menores espaçamentos entre elas.

De acordo com Derpsch et al. (1991) as semeadoras para semeadura direta devem ter elementos de corte para cortar restos vegetais e romper o solo não preparado, mecanismos para adubação e semeadura que possibilitem a regulagem de profundidade,

densidade de semeadura e espaçamentos entre linhas, rodas compactadoras para fechar os sulcos e compactar o solo ao redor das sementes, protegendo-as do ressecamento e ataque de pássaros e roedores.

4.3 Disco de corte de palha

Com o aumento do sistema de plantio direto em áreas cultivadas, torna-se de fundamental importância o uso e o conhecimento do disco de corte de palha, pois este equipamento é indispensável para realização de um plantio otimizado neste sistema.

Kushwaha et al. (1983) afirmam que a velocidade de operação no corte não apresenta diferença significativa nos requerimentos de força nem mesmo na eficiência de corte. Kushwaha et al. (1986) fizeram testes em caixa de solo, com palhicho de trigo e encontraram que o processo de corte é influenciado pelo diâmetro do disco, profundidade de trabalho, teor de água, índice de cone do solo, densidade e umidade do palhicho. O melhor comportamento foi atribuído para o disco de 0,46 m de diâmetro, com profundidades de trabalho de 0,5 a 0,7 m, conseguindo-se uma eficiência de 100%. A força vertical reportada para o corte de palhicho de trigo no solo foi de 35 e 200 N. Já a força horizontal apresentou valores de 30 e 100 N.

Tice e Hendrick (1992) avaliando características de operação de discos de corte acharam que discos com larguras pequenas necessitaram menores forças horizontal e vertical, melhorando ainda quando o ângulo da cunha é pequeno, pelo qual aumenta a eficiência de corte.

Chang et al. (1986) testaram diferentes formas de discos para corte de resíduos de milho em duas profundidades e três teores de água. Para uma profundidade de trabalho de 0,076 m, eles requereram valores médios para a força horizontal de 321 N e de 1045 N para a força vertical. Concluíram que a forma e o diâmetro do disco não influenciaram significativamente no corte dos resíduos de milho. Tanto a força horizontal como a força

vertical aumenta quando é incrementada alguma das seguintes características de operação: profundidade de trabalho, diâmetro do disco ou resistência a penetração.

4.4 Mecanismo sulcador tipo haste

Os mecanismos que rompem o solo para a deposição de adubos e sementes usados em semeadoras, tem a função de assegurar boas condições de germinação e desenvolvimento das culturas (Portela, 1983).

Siqueira et al. (2002) trabalhando em um Latossolo Roxo distrófico, em diferentes teores de água no solo, profundidades de trabalho e diferentes modelos de hastes sulcadoras, mostraram que o uso de hastes com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura máxima da ponteira de 22 mm, podem representar até 50% de redução na potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora de plantio direto com 9 linhas. Os mesmos autores afirmam ainda que a redução de 50% na potência reflete em redução máxima de 27 CV na potência no motor. Verificaram também que aumentando a profundidade de 12 para 20cm, ocorreram aumentos na força de tração de 170 para 465 kgf, o que representa cerca de 5,4 CV e 14,3 CV no motor por haste, respectivamente.

Segundo Mion (2002), mecanismos de abertura de sulco tipo haste, promovem uma maior mobilização em solos de textura argilosa quando comparados com mecanismos de abertura de sulco tipo disco ondulado. O mesmo autor relata que as hastes sulcadoras exigem menor carga vertical para manter a profundidade de trabalho devido a sucção proporcionada pela interação solo-ferramenta.

Segundo Ganssen & Ganssen (1996), a semeadura deve ser realizado no estágio de friabilidade do solo, resultando em qualidade de semeadura, porém se esta for realizada em solo seco, obtêm-se menor eficiência dos mecanismos sulcadores.

Casão Junior et al. (1998), relatam que semeadoras-adubadoras de plantio direto tem apresentado problemas em solos com altas porcentagens de argila, enfatizando que alta resistência à penetração dos componentes rompedores nesses solos,

associada a grande retenção de água, tem mostrado que a utilização da haste sulcadora nos solos com alta resistência superficial tem sido mais indicado, porém o projeto da mesma deve ser otimizado no sentido de reduzir a área mobilizada.

Mello et al. (2002) avaliando o condicionamento físico dos mecanismos sulcadores, mostraram que a haste (facão) apresentou maior capacidade de romper o solo na linha de semeadura, provocando redução na densidade e resistência à penetração; aumento na macroporosidade do solo e um aumento de 11,3% na produção do milho, em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

Em solos com baixo teor de água, os elementos sulcadores que trabalham em camadas mais profundas tendem a criar um microclima favorável ao desenvolvimento das plântulas, tanto de soja como de milho no sistema de plantio direto, (Portela et al. , 1997).

Para Araújo et al. (1999), o uso de sulcadores tipo haste no sistema de plantio direto, tem se firmado nas regiões de solos argilosos, como alternativa de romper a camada superficial de impedimento e penetrar até a profundidade desejada.

Portela (1989), concluiu que os mecanismos de abertura tipo haste apresentam maior demanda de potência, maior volume de solo mobilizado e maior suscetibilidade ao embuchamento, porém são mais baratas e exigem menos pressão para a penetração.

Spoor e Godwin (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.

Cepik et al. (2002) analisando a patinagem do trator e a força de tração em hastes sulcadoras, concluíram que houve diferença significativa nos parâmetros estudados em função do aumento da profundidade de trabalho do sulcador. A velocidade de deslocamento da semeadora influenciou a força de tração somente na condição de solo friável e a patinagem na condição seco e friável, com maiores valores na maior velocidade testada (6,5 km.h⁻¹).

Araújo et al. (1999), concluiu que houve um aumento da área de solo mobilizado com o aumento da velocidade, em experimentos com milho, em consequência da movimentação proporcionada pela haste sulcadora.

Segundo Casão Junior et al. (1998), a distância entre o disco de corte e sulcador que deposita o fertilizante em torno de 100 mm, apresentou bom desempenho, não sendo identificado pontos de embuchamentos, com exceção quando a palha de milho não estava devidamente distribuída pelo picador da colhedora.

Araújo et al. (2001), constataram que quando o volume de palha na superfície é grande, ou seja, acima de 6t/ha e o espaçamento entre as linhas de plantio é reduzido (menor ou igual a 500 mm), aumenta a possibilidade de embuchamento, principalmente quando se utiliza sulcadores de haste.

A melhor haste é aquela que consegue penetrar com maior facilidade no solo mais “endurecido” superficialmente, típico do plantio direto, exigindo baixa força de tração e movimentando pouco o solo no sulco. O desempenho da haste depende de vários fatores, tais como, velocidade de operação, posição em relação aos demais sulcadores da semeadora, condições de solo, nível de aderência de solo e das características geométricas da própria haste, sendo que estudos mostraram que hastes com ângulos de ataque (ângulo entre a superfície superior da ponteira e a horizontal) de 20° e espessura de 20 mm, tem apresentado bons resultados (Araújo et al. , 2001).

Estudando mecanismos de abertura de sulco tipo haste e variando o ângulo de 90 à 150° e o ângulo da ponteira de 15 à 60° em condições de laboratório em solo arenoso, Abernathy & Porterfield (1969), concluíram que a maior profundidade ocorreu para maiores ângulos tanto na haste como na ponteira.

4.5 Demanda de potência

Segundo Singe & Singe (1986), o elevado consumo de energia se deve ao desenho de muitas ferramentas que são baseadas em experiências práticas, ainda que conhecimentos científicos das características do solo e das forças possam influenciar a interação ferramenta solo; usam quantidade excessiva de energia ou não são tão eficientes quanto poderiam ser.

Silva (2000) observou que o requerimento de energia nos mecanismos de abertura de sulco do tipo haste foi maior que a do tipo guilhotina e discos duplos, sendo exigido uma demanda de potência na barra de tração 62,5 % a mais que os discos duplos.

Siqueira et al. (2000) testando diferentes hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto em diferentes teores de água e profundidades de sulco, verificaram que na maior profundidade (12,5 cm), foi exigida maior força e potência e que o teor de água no solo não afetou o requerimento de potência.

Araújo et al. (1999) afirmam que as hastes sulcadoras demandam maior força de tração que os discos e por isso são mais empregadas na semeadura de milho do que na de soja, devido a limitação de potência dos tratores.

Para Tessier et al. (1989) as hastes tem maior demanda de força de tração que os discos e, por isso, têm sido mais utilizadas na semeadura do milho e menos intensamente na cultura da soja devido à limitação da potência dos tratores, comumente utilizados nessas culturas.

De acordo com Portella & Faganello (1984) as semeadoras equipadas com elementos rompedores de solo de discos exigiu menor força para tração e maior força para penetração do que aquelas equipadas com sistemas de haste. Para Chang et al. (1983), a profundidade de penetração da haste sulcadora de uma semeadora-adubadora depende do seu ângulo de inclinação associado a uma força vertical atuando de baixo para cima.

Siqueira et al. (2000) concluíram que é possível a seleção de mecanismos de abertura de sulco do tipo haste de semeadoras-adubadoras de plantio direto que exijam menores esforços e potência. O mesmo autor observou que diferentes projetos de hastes sulcadoras afetaram as forças vertical e horizontal, seus valores específicos e a potência, demonstrando que é possível alterar esses parâmetros com mudanças no projeto das hastes.

Silva (2003) constata que ocorreu diferença significativa no requerimento de força de tração quando se aumentou a profundidade de trabalho de semeadoras-adubadoras equipadas com hastes para deposição de adubo. O mesmo autor relata que houve um aumento médio da força de 102% quando a profundidade passou de 0,10m para 0,20m, aumento médio de 50% de 0,20m para 0,30m e quando a profundidade passou de 0,10m para 0,30m, houve um incremento médio de 304% na exigência de força na barra.

Payne & Tanner (1959), estudando hastes retangulares, analisaram as relações profundidade/largura da ferramenta e inclinação da haste, em condições de laboratório e no campo. Observaram que o esforço variou linearmente com a largura da haste e que os ângulos de ataque tem grande influência na força de tração. Porém ocorreram tendências para as curvas inclinarem rapidamente quando o ângulo de ataque da haste ultrapassava 48°.

Portella (1989), concluiu que os mecanismos de abertura de sulco do tipo haste apresentaram maior demanda de potência, maior volume de solo mobilizado e maior susceptibilidade de embuchamento, porém são mais baratos e exigem menos pressão para penetração. Os mecanismos de abertura de sulco do tipo discos mobilizam menor volume de solo e demandaram menor energia, no entanto exigem grande pressão para obter penetração e apresentam menos problemas com embuchamento..

Fey et al. (2000) avaliaram o desempenho de mecanismos de abertura de sulco em solo com textura argilosa e observaram que o teor de água influenciou na força máxima de tração quando utilizou a semeadora com mecanismo de abertura de sulco do tipo haste, sendo os valores maiores que os encontrados para o mecanismo de abertura de sulco do tipo disco e guilhotina.

Avaliando o desempenho de semeadoras em três diferentes teores de água (33, 37 e 39%) e em dois sistemas de preparo do solo, Bombardelli et al. (1999), observaram um maior requerimento de força para o sistema de plantio direto quando comparado ao preparo reduzido, sendo que o valor de 37% do teor de água obteve o menor requerimento.

Estudando o desempenho de semeadoras em solos argilosos, Casão Júnior et al. (2000), observaram que os resultados da força específica média, evidenciam a correlação positiva entre a força específica e a consistência do solo, fazendo com que os componentes de abertura de sulco da semeadora demandassem mais energia para promover sua ruptura, devido as deformações promovidas pelo efeito de plasticidade do mesmo, sendo que com o aumento do teor de água induziu aumento na força de tração.

Payne (1956) encontrou uma relação linear na força de tração quando variou a velocidade de deslocamento de 1,6 para 9,6 km/h, obtendo incremento da ordem de 20 a 30 %. Trabalhando em condições de laboratório com hastes planas retangulares (verticais

ou inclinadas), agindo como se fosse um implemento, o autor encontrou incrementos de 25 % na força de tração ao aumentar a velocidade de 1,1 para 2,2 km/h, em solo com 35,6 % de argila; para um solo com apenas 2,7% de argila o aumento na força de tração foi de 10,2 %.

Koronka (1973), pesquisando elementos rompedores de solos aplicados à semeadoras de plantio direto, observou que a força de tração alterava-se ao usar hastes em diferentes velocidade de deslocamento; ao empregar discos de corte havia variação considerada insignificante. Analisando a força vertical notou não haver variação com a velocidade, embora a haste exigisse mais força para romper o solo.

Payne (1956) usou um solo franco arenoso e outro franco argiloso, variando quatro profundidades de trabalho, usando uma haste retangular plana como se fosse um implemento de preparo do solo. Concluiu que o esforço é uma função da profundidade. Esta função possui duas componentes: uma proporcional à profundidade que é a coesão e outra que varia com o quadrado da profundidade que é o peso do solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área experimental

O experimento foi instalado e conduzido na Fazenda Experimental Lageado (Botucatu, SP), com as coordenadas 22° 41' Latitude Sul e 48° 34' de Longitude Oeste, com uma altitude média de 770 m e declividade média de 4%.



Figura 1. Área experimental

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas tinham trinta e seis metros quadrados, com três metros de largura por doze metros de comprimento. Os blocos foram espaçados de dez metros a fim de permitir manobra do trator.

5.3 Tratamentos

O experimento foi constituído de dezesseis tratamentos provenientes das combinações de dois modelos de hastes sulcadoras, utilização e não utilização de disco para corte de palha e quatro profundidades de trabalho, estando descritos a seguir :

Tratamento 1: haste comercial, profundidade 1 (130 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 2: haste comercial, profundidade 1 (130 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 3: haste comercial, profundidade 2 (230 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 4: haste comercial, profundidade 2 (230 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 5: haste comercial, profundidade 3 (280 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 6: haste comercial, profundidade 3 (280 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 7: haste comercial, profundidade 4 (330 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 8: haste comercial, profundidade 4 (330 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 9: haste experimental, profundidade 1 (130 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 10: haste experimental, profundidade 1 (130 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 11: haste experimental, profundidade 2 (230 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 12: haste experimental, profundidade 2 (230 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 13: haste experimental, profundidade 3 (280 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 14: haste experimental, profundidade 3 (280 mm), sem disco de corte de palha.

Tratamento 15: haste experimental, profundidade 4 (330 mm), com disco de corte de palha.

Tratamento 16: haste experimental, profundidade 4 (330 mm), sem disco de corte de palha.

5.4 Solo

O solo da área experimental foi classificado por Carvalho et al (1983) e adaptado segundo EMBRAPA (1999) como Nitossolo Vermelho distróférrico, com declividade média de 4%.

Tabela 1. Análise granulométrica do solo da área experimental.

Partículas	(%)
Areia	24,4
Silte	20,6
Argila	55,0

5.5 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada na camada de 0-100 mm, 100-200 mm e 200-300 mm de profundidade utilizando o método do Torrão, descrito conforme EMBRAPA (1979).

5.6 Teor de água do solo

O método utilizado foi o gravimétrico padrão de estufa, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 - 110° C até a massa constante. Foram coletadas amostras para a determinação do teor de água no solo na camada de 0 – 100mm, 100 – 200 mm e de 200 – 300mm e 300-400 mm de profundidade. O solo coletado foi colocado em cápsulas de alumínio, sendo vedadas com fita plástica e transportada até o laboratório, onde foram pesadas em balança digital.

5.7 Massa seca da cobertura vegetal

Para determinar a massa seca da cobertura vegetal foi utilizado um quadrado de madeira com 500 x 500 mm, sacos de papel, estufa elétrica e balança, o material ficou na estufa por 48h à temperatura de 70°. Após o material ser pesado depois de seco, o peso foi extrapolado para kg/ha^{-1} . O experimento foi conduzido sobre uma área manejada com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb).

5.8 Índice de cone

Foi utilizado um penetrógrafo marca Soil control, modelo SC-60, com profundidade máxima de 600 mm e resistência máxima admissível de 76 MPa, haste com cone padrão, ângulo de 30°, área basal de 130 mm^2 e cartões padronizados para registros de dados. A tomada de dados foi realizada na linha onde os mecanismos sulcadores atuaram, com cinco pontos por parcela.

5.9 Área de solo mobilizado

Foi utilizado um perfilômetro de varetas descrito por Mahl (2002), que determina o perfil mobilizado do solo. Para os cálculos foi utilizada uma mesa digitalizadora, marca Digicom, pertencente ao laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural.



Figura 2. Perfilômetro de varetas.

5.10 Cálculo da profundidade crítica de trabalho.

Para o cálculo da profundidade crítica de trabalho seguiu-se as relações da largura da ponteira que determina que a profundidade de trabalho deve ser de 5 a 7 vezes a sua largura.

Tabela 2. Profundidade crítica de trabalho.

	Largura da ponteira (mm)	Profundidade crítica (mm)
Haste comercial	28	140 à 196
Haste experimental	22	110 à 154

5.11 Máquinas e equipamentos agrícolas

5.11.1 Trator

Trator marca John Deere, modelo 6600, número de cilindro, 6; potência (cv) 121, peso total de 4930 kg, com tração dianteira auxiliar (TDA), acoplado ao equipamento, devidamente regulado e instrumentado.

5.11.2 Mecanismos sulcadores

As hastes que foram utilizadas para este ensaio, possuem as seguintes dimensões:

Tabela 3. Dimensões das hastes ensaiadas (mm).

	Haste experimental	Haste comercial
Espessura (mm)	12	9
Largura da ponteira (mm)	22	28
Ângulo horizontal	20°	50°

As duas hastes foram reconstruídas com extensores metálicos, a fim de permitirem a variação perfeita das quatro profundidades utilizadas, sendo que as medidas originais foram respeitadas nos dois modelos, para que não ocorram discrepâncias nos dados obtidos em relação ao projeto de construção das mesmas.



Figura 3. Hastes sulcadoras (esquerda: experimental, direita: comercial)

5.11.3 Barra porta ferramenta

Para as avaliações realizadas com as hastes sulcadoras foi utilizada uma barra porta ferramenta, desenvolvida por Mion (2001), que possui 1240 mm de comprimento, 985 mm de largura e 1285 mm de altura, com peso total aproximadamente de 300 kgf.

O equipamento foi acoplado no engate de três pontos do sistema hidráulico do trator, sendo esse responsável pela tração. O equipamento foi previamente nivelado antes de iniciar os trabalhos no campo com um nível manual utilizado na construção civil.



Figura 4. Barra porta ferramentas.

5.11.4 Carga sobre a barra porta ferramenta

A carga vertical utilizada foi definida de acordo com o peso total de uma semeadora-adubadora marca Marchesan, modelo PST 2, com peso total carregada de 1800 kg, equipada com seis linhas de semeadura. Como a avaliação das forças ocorre em uma haste somente, o peso da semeadora foi dividido por seis chegando assim no peso total do equipamento de 300 kg.

5.11.5 Dinamômetro ortogonal

O dinamômetro ortogonal utilizado para medir as forças que atuam nas hastes, foi desenvolvido pela Micro Sensores Industriais, com capacidade de 2500 kg, possuindo dimensões de 400 x 400 x 400 mm, com peso total de 80 kg.

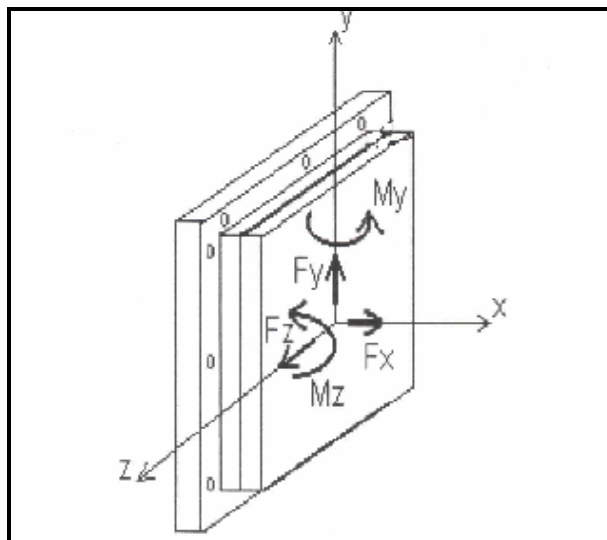


Figura 5. Esquema do dinamômetro ortogonal (Fonte: Mion, 2002)



Figura 6. Dinamômetro ortogonal.

5.11.6 Calibração da força horizontal, vertical e lateral e do momento em relação ao eixo Z e Y

De acordo com Mion (2001), para calibrar a força horizontal, vertical e lateral utilizou-se uma prensa hidráulica (EMIC) instrumentada com uma célula de carga

aferida pelo Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (INMETRO). O incremento de carga durante o carregamento e descarregamento foi variável.

Para calibrar em relação ao momento aplicado, foi colocado sobre o dinamômetro ortogonal um viga de perfil em “C” com 600 mm de comprimento de forma a permitir a aplicação da carga a 400 mm do centro do dinamômetro.

Os valores da força da prensa eram visualizados em um computador e os valores da célula de carga eram visualizados através de um coletor e armazenador de dados.

5.11.7 Sistema de aquisição de dados

Para armazenar os dados gerados foi utilizado um sistema de aquisição fabricado pela Campbell Scientific, Inc. modelo “CR 21 X micrologger”.



Figura 7. Armazenador de dados.

5.11.8 Sensor de profundidade

Para se medir a profundidade foi utilizado um sistema desenvolvido por Mion (2001), composto por uma cremalheira acoplada a um potenciômetro de 5 volts e 10 voltas, para medir o deslocamento vertical das hastes.



Figura 8. Sensor de profundidade.



Figura 9. Roda do sensor de profundidade.

5.11.9 Forças medidas

Foram medidas as forças horizontal (F_x), vertical (F_y) e lateral (F_z). Os valores das forças foram apresentados em Newtons (N). As forças máximas e a força horizontal média por área de solo mobilizado foram apresentadas em N.cm^{-2} .

5.11.9.1 Forças médias

As determinações dessas forças foram obtidas através da média aritmética dos valores armazenados pelo coletor de dados, durante seu percurso pela parcela experimental. Os valores das forças e dos momentos são apresentados nas quatro profundidades de trabalho, a fim de compararmos as hastes nas mesmas condições.

5.11.9.2 Força horizontal máxima

Essa força corresponde ao valor máximo registrado pelo coletor de dados entre o percurso do conjunto trator – equipamento pela parcela experimental.

5.11.9.3 Força vertical máxima

Essa força é determinada seguindo o mesmo princípio do item anterior.

5.11.9.4 Força lateral máxima

Essa força é determinada como descrito em 5.11.9.2.

5.11.9.5 Forças médias por área de solo mobilizado

Para a determinação desse parâmetro utilizou-se a relação entre as forças médias obtidas e a área de solo mobilizado, sendo demonstrado pela equação:

$$Fma = \frac{Fm}{Am}$$

onde:

Fma = Força média obtida por área de solo mobilizado (N.cm⁻²)

Fm = Força média (N)

Am = Área de solo mobilizado (cm²)

5.11.9.6 Força horizontal específica

Este parâmetro corresponde ao produto da divisão dos valores da força horizontal média (item 5.11.9.1) pela média da profundidade de trabalho (item 5.10.9) das hastes, obtidas em todos os tratamentos do ensaio.

5.11.10 Momentos

Serão apresentados os valores de My (momento transversal) e Mz (momento longitudinal), bem como seus valores máximos, obtidos pelo dinamômetro ortogonal descrito em 5.11.5.

5.11.10.1 Momentos médios

Os valores médios dos momentos foram obtidos do mesmo modo como descrito no item anterior.

5.11.10.2 Momentos máximos

Os valores máximos dos momentos foram obtidos como descrito no item anterior.

5.11.10.3 Velocidade média de deslocamento

A velocidade média de deslocamento foi obtida segundo Mahl (2002) através de método indireto pela frequência de aquisição de dados (10 Hz) do coletor, obtendo-se desta forma dez registros por segundo. O tempo gasto para percorrer cada parcela correspondeu ao número de registros obtidos, que foram armazenados no intervalo de 0,1s cada, sendo a velocidade média de deslocamento obtida pela fórmula:

$$Vel = \frac{L}{\Delta t}$$

onde:

Vel = velocidade média de deslocamento ($m.s^{-1}$)

L = comprimento da parcela experimental (12m)

Δt = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s)

5.11.11 Potências

Foram determinados os valores de potência média, potência média por área de solo mobilizado, potência máxima e potência máxima por área de solo mobilizado, conforme descrito nos subitens abaixo.

5.11.11.1 Potência média

Para determinação da potência média foram utilizados os valores da força F_x que corresponde a força horizontal ou força de tração, segundo a fórmula:

$$P_m = F_m \cdot V_m \cdot 0,0098096$$

onde:

P_m = potência média (kW)

F_m = força horizontal média (kgf)

V_m = velocidade média de deslocamento (m.s^{-1})

0,0098096 = fator de conversão de unidades para expressar o resultado em kW

5.11.11.2 Potência máxima

Para determinação da potência média foi utilizado o valor de força máxima registrado pelo coletor de dados na parcela experimental, sendo calculado pela fórmula:

$$P_{m\acute{x}} = F_{m\acute{x}} \cdot V_m \cdot 0,0098096$$

onde:

$P_{m\acute{a}x}$ = potência máxima (kW)

$F_{m\acute{a}x}$ = Força horizontal máxima (kgf)

V_m = velocidade média de deslocamento ($m.s^{-1}$)

0,0098096 = fator de conversão de unidades para expressar o resultado em kW

5.11.11.3 Potência média por área de solo mobilizado

Esse parâmetro foi determinado pela relação entre a potência média e a área de solo mobilizado, sendo calculado pela fórmula:

$$P_{ma} = \frac{P_m}{A_m} \cdot 1000$$

onde:

P_{ma} = potência por área de solo mobilizado ($W.cm^{-2}$)

P_m = potência média (kW)

A_m = área de solo mobilizado (cm^2)

1000 = fator de conversão de unidades

5.11.11.4 Potência máxima por área de solo mobilizado

Esse parâmetro foi determinado conforme item anterior substituindo-se os valores de potência média por valores de potência máxima.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de todos os parâmetros obtidos são apresentados na forma de Tabelas e Figuras, onde os valores seguidos de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para apresentação dos dados, a nomenclatura dos tratamentos foi abreviada com o intuito de facilitar a construção do corpo do texto, sendo as abreviações apresentadas abaixo:

HC – haste comercial

HE – Haste experimental

P1 – profundidade 1 de trabalho (~ 130 mm);

P2 – profundidade 2 de trabalho (~ 230 mm);

P3 – profundidade 3 de trabalho (~ 280 mm);

P4 – profundidade 4 de trabalho (~ 330 mm).

6.1 Densidade do solo

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios da densidade do solo na área experimental. Como podemos observar, na profundidade de 10-20 cm o valor da densidade se encontra mais elevado, fato que ocorre no sistema de plantio direto que geralmente apresenta a camada compactada entre 10 e 20 cm.

Tabela 4. Densidade do solo.

Profundidade (cm)	Densidade (g.kg ⁻¹)
0 – 10	1,34AB
10 – 20	1,36B
20 – 30	1,32A
CV(%)	3,03

6.2 Teor de água no solo

Na Tabela 5 são apresentados os valores do teor de água no solo, no momento da execução dos trabalhos em campo.

Tabela 5. Teor de água no solo no momento da execução dos trabalhos em campo.

Profundidade (cm)	Teor de água (g.kg ⁻¹)
0 - 10	22,69
10 - 20	30,19
20 - 30	33,97
30 - 40	35,40

6.3 Massa seca da cobertura vegetal

Na Figura 10, são apresentadas as quantidades de massa seca vegetal por hectare, sendo as médias apresentadas por bloco da área experimental.

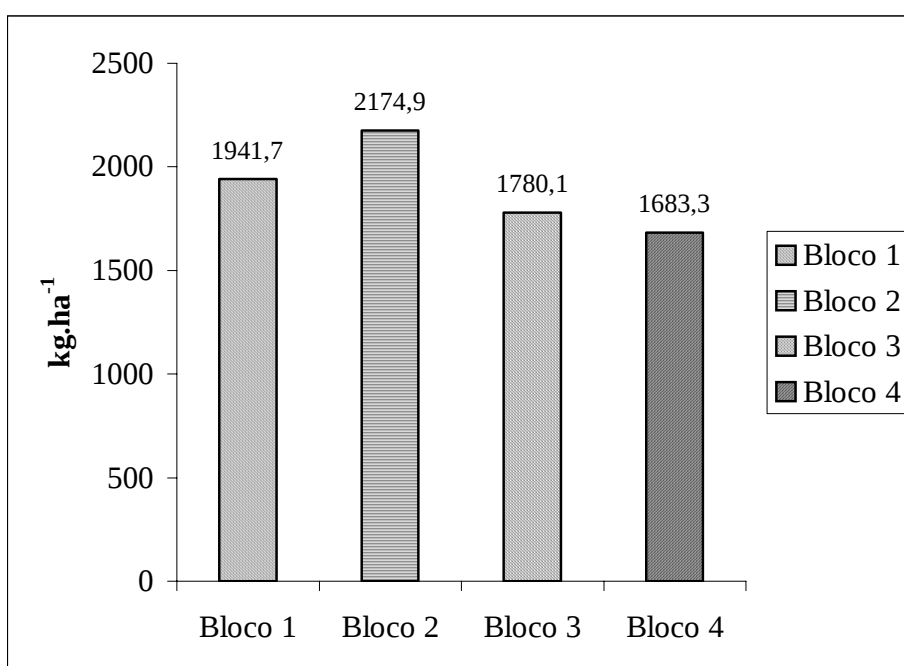


Figura 10. Quantidade de matéria seca de cobertura presente na área experimental.

6.4 Índice de cone

Na Tabela 6 são mostrados os dados de teor de água no solo na realização da coleta de dados do índice de cone. Na Figura 11 estão as variações das médias por tratamento do índice de cone.

Tabela 6. Teor de água no solo no momento da determinação do índice de cone.

Camada (cm)	Teor de água (g.kg ⁻¹)
0-10	34,76
10-20	36,34
20-30	33,74

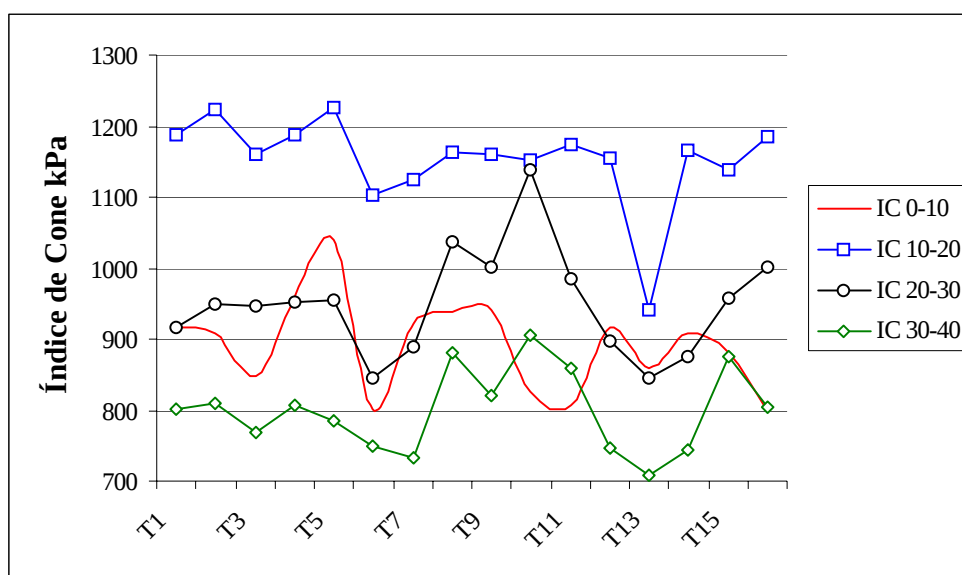


Figura 11. Médias do índice de cone por tratamento.

6.5 Área de solo mobilizado

De maneira geral as haste não apresentaram diferença significativa para área de solo mobilizado e na média a utilização do disco de corte não interferiu nesse parâmetro, porém a HC mostra uma tendência para maiores valores sem a utilização do disco de corte nas profundidades um, dois e três, estando de acordo com Tamayo (2002) que obteve maiores valores de área de solo mobilizado trabalhando unicamente com hastes. As profundidades P1, P2 e P3 diferiram estatisticamente entre si, concordando com Silva (2003).

A profundidade P3 foi estatisticamente igual a P4, isso esta relacionado com a profundidade crítica de trabalho, quando ultrapassada pela ferramenta não surte o efeito desejado na mobilização do solo.

Tabela 7. Variações da área de solo mobilizado (cm²) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

ASM (cm ²)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	156,66Aa	215,01Aa	374,27A
	Sem disco	160,64Aa	665,56Aa	
	MÉDIA	158,65a	440,28a	
P2	Com disco	314,83Aa	320,65Aa	395,57B
	Sem disco	442,94Ba	503,86Ba	
	MÉDIA	378,88a	412,26a	
P3	Com disco	471,22Aa	615,37Ab	563,55C
	Sem disco	607,34Ba	560,27Aa	
	MÉDIA	539,28a	587,82a	
P4	Com disco	657,36Aa	691,94Aa	632,82C
	Sem disco	612,36Aa	569,61Aa	
	MÉDIA	634,86a	630,78a	
Média Haste		427,92a	455,28a	Média Disco
	Com disco	400,02Aa	460,74Aa	430,38A
	Sem disco	455,82Aa	449,82Aa	452,82A
CV(%)	19,68			

Tabela 8. Variações da área de solo mobilizado (cm²) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

ASM (cm ²)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	156,66Aa	314,83Aab	471,21Ab	657,36Ac	427,92A
	Sem disco	160,64Aa	442,94Bb	607,33Bc	612,36Ac	
	MÉDIA	158,65a	378,88b	539,27c	639,86c	
HE	Com disco	215,01Aa	320,65Aa	615,37Ab	691,94Ab	455,28A
	Sem disco	165,56Aa	503,86Bb	560,27Ab	569,61Ab	
	MÉDIA	190,28a	412,26b	587,82c	630,78c	
Média Prof.		374,27a	395,57b	563,55c	632,82c	Média Disco
	Com disco	185,83Aa	317,72Ab	543,29Ac	674,65Ad	430,38A
	Sem disco	163,10Aa	473,40Bb	583,80Abc	590,98Ac	452,82A
CV(%)	19,68					

6.6 Velocidade média de deslocamento

Na Figura 12 são apresentados os valores de velocidade de deslocamento em m.s^{-1} por tratamento experimental. Em média a velocidade foi de $1,6 \text{ m.s}^{-1}$ para as hastes ensaiadas com e sem a utilização do disco de corte de palha.

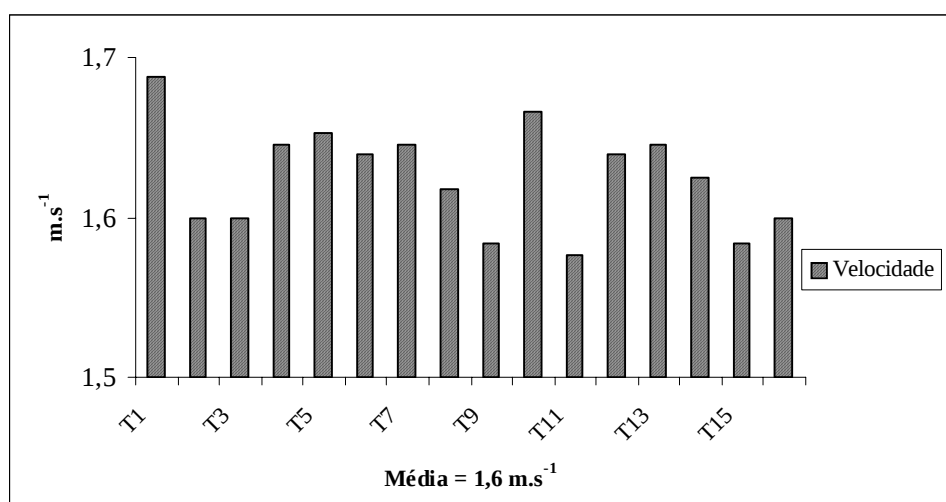


Figura 12. Variação da velocidade média de deslocamento (m.s^{-1}).

6.7 Profundidade de trabalho

Na Tabela 9 são apresentados os valores da variação das profundidades de trabalho. Os valores pré-estabelecidos das profundidades possuem uma variação de aproximadamente 30,0 mm, isso ocorre devido a irregularidade natural da superfície do terreno e pela presença de palha sobre o solo.

Tabela 9. Variações médias das profundidades de trabalho (mm).

Médias	P1	P2	P3	P4
HC com disco	133,97	233,88	282,49	335,86
HC sem disco	136,76	236,60	286,77	337,13
HE com disco	136,11	236,06	286,61	336,26
HE sem disco	136,06	235,97	285,86	335,84

6.8 Forças medidas

Os dados apresentados são referentes as forças Fx (força horizontal), Fy (força vertical) e Fz (força lateral) em função das profundidades de trabalho para haste comercial (HC) e haste experimental (HE) com e sem disco de corte de palha. São apresentadas as forças médias, as forças máximas e as médias da força horizontal em função da área de solo mobilizado.

6.8.1 Médias da força horizontal (Fx).

As hastes apresentaram diferença significativa com relação ao requerimento de força horizontal sendo que HE apresentou um valor 13,5% maior do que HC independente da utilização do disco de corte ou não. Com o aumento da profundidade de trabalho ocorreu também um aumento significativo no requerimento da força Fx, fato também observado por Silva (2003) e Payne (1956), pois quanto maior a profundidade de trabalho maior a resistência oferecida pelo solo.

Tabela 10. Variação da força horizontal média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fx (N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	394,06Aa	432,57Aa	415,04A
	Sem disco	390,54Aa	442,99Aa	
	MÉDIA	392,30a	437,78a	
P2	Com disco	668,95Aa	712,77Aa	714,26B
	Sem disco	714,00Aa	761,34Aa	
	MÉDIA	691,48a	737,05a	
P3	Com disco	921,90Aa	925,41Aa	932,92C
	Sem disco	887,74Aa	996,64Aa	
	MÉDIA	904,82a	961,02a	
P4	Com disco	1116,57Aa	1474,71Ab	1296,89D
	Sem disco	1140,05Aa	1156,21Ab	
	MÉDIA	1128,31a	1465,46b	
Média Haste		779,23a	900,33b	Média Disco
	Com disco	775,37Aa	886,36Ab	830,87A
	Sem disco	783,08Aa	914,30Ab	848,69A
CV(%)	10,16			

Tabela 11. Variação da força horizontal média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fx (N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	394,06Aa	668,95Ab	921,90Ac	1116,57Ad	779,23A
	Sem disco	390,54Aa	714,00Ab	887,74Ac	1140,05Ad	
	MÉDIA	392,30a	691,48b	914,82c	1128,31d	
HE	Com disco	432,57Aa	712,77Ab	925,41Ac	1474,71Ad	900,33B
	Sem disco	442,99Aa	761,34Ab	996,64Ac	1456,21Ad	
	MÉDIA	437,78a	737,05b	961,03c	1465,46d	
Média Prof.		415,04a	714,26b	932,92c	1296,89d	Média Disco
	Com disco	413,32Aa	690,86Ab	923,66Ac	1295,64Ad	830,87A
	Sem disco	416,77Aa	737,68Ab	942,19Ac	1298,13Ad	848,69 A
CV(%)	10,16					

Pode-se observar que o disco de corte de palha não teve influência expressiva no requerimento de força pelas duas hastes ensaiadas, uma vez que, teoricamente, a

atuação do disco à frente da haste sulcadora provoca um pré rompimento do solo, diminuindo a resistência à atuação da haste, fenômeno que não pode ser observado com tanta expressividade nas condições do ensaio. Esse efeito previsto para o disco de corte, em teoria se torna mais visível na profundidade 1 de trabalho que é a profundidade geralmente usada como padrão para hastes sulcadoras, todavia as Tabelas 10 e 11 mostram que a diferença é pequena ou inexistente. Esse fato provavelmente ocorreu pelo requerimento de força do próprio disco de corte, como comprovou Mion (2002) observando um maior requerimento de força horizontal do disco liso quando comparado com haste sulcadora, disco corrugado e disco duplo.

6.8.2 Médias da força vertical (Fy).

Os dados apresentados mostram uma diferença significativa na força vertical com relação aos dois mecanismos sulcadores

Tabela 12. Variação da força vertical média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fy(N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	187,51Aa	193,64Aa	189,25A
	Sem disco	187,52Aa	188,35Aa	
	MÉDIA	187,52a	190,99a	
P2	Com disco	193,99Aa	209,27Aa	200,16AB
	Sem disco	177,84Aa	219,52Ab	
	MÉDIA	185,92a	214,40b	
P3	Com disco	175,04Aa	227,11Ab	201,06AB
	Sem disco	177,10Aa	224,98Ab	
	MÉDIA	176,07a	226,05b	
P4	Com disco	198,60Ba	228,57Ab	214,63B
	Sem disco	171,27Aa	260,08Ab	
	MÉDIA	184,94a	244,33b	
Média Haste		183,61a	218,94b	Média Disco
	Com disco	188,79Aa	214,65Ab	201,72A
	Sem disco	188,43Aa	223,23Ab	200,83A
CV(%)	7,66			

Tabela 13. Variação da força vertical média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fy (N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	187,51Aa	193,99Aa	175,04Aa	198,60Ba	183,61A
	Sem disco	187,52Aa	177,84Aa	177,10Aa	171,27Aa	
	MÉDIA	187,52a	185,92a	184,94a	176,72a	
HE	Com disco	193,64Aa	209,27Aab	227,11Ab	228,58Ab	218,94B
	Sem disco	188,35Aa	219,52Ab	224,98Ab	260,08Bc	
	MÉDIA	190,99a	114,40b	126,05bc	244,33c	
Média Prof.		189,25a	200,16ab	201,06ab	214,63b	Média Disco
	Com disco	190,58Aa	201,08Aab	201,63Aab	213,59Ab	201,72A
	Sem disco	187,93Aa	198,68Aab	201,04Aab	215,68Ab	200,83A
CV(%)	7,66					

A HE obteve valores médios 16% superiores a HC. O fator disco de corte não interferiu no requerimento dessa força entre as hastes nas quatro profundidades de trabalho, já P1 foi diferente estatisticamente das demais provavelmente devido a menor interação dos mecanismos sulcadores com o solo.

As Tabelas 12 e 13 mostram que em P4 ocorreu uma diferença significativa entre as hastes para o fator disco de corte, na HC a utilização do disco de corte provocou um aumento na força vertical e na HE uma diminuição no valor dessa força.

6.8.3 Médias da força lateral (Fz)

A força lateral nos mostra uma tendência dos equipamentos em sofrer um deslocamento lateral em relação ao sentido do movimento. As hastes apresentaram diferença estatisticamente significativa com relação a esse parâmetro. A HE apresentou os maiores valores de força lateral. De acordo com Mion (2002), quanto maior a força lateral maior a tendência ao deslocamento lateral do conjunto, podendo prejudicar a operação de semeadura em terrenos onde a declividade for mais acentuada. As profundidades de trabalho

também apresentaram diferença significativa, sendo que P1 e P4 foram estatisticamente iguais assim como P2 e P3.

Tabela 14. Variação da força lateral média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fz (N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	112,54Aa	147,67Aa	123,97B
	Sem disco	94,56Aa	141,16Ab	
	MÉDIA	103,55a	144,40b	
P2	Com disco	81,87Aa	43,20Aa	51,42A
	Sem disco	44,18Aa	36,41Aa	
	MÉDIA	39,81a	63,02a	
P3	Com disco	58,14Aa	42,21Aa	61,19A
	Sem disco	67,41Aa	76,99Aa	
	MÉDIA	62,79a	59,60a	
P4	Com disco	113,49Aa	167,78Ab	150,77B
	Sem disco	134,25Aa	187,54Ab	
	MÉDIA	123,87a	177,66b	
Média Haste		88,31a	105,38b	Média Disco
	Com disco	91,51Aa	100,21Aa	95,86A
	Sem disco	85,10Aa	110,52Ab	97,81A
CV(%)	29,46			

Tabela 15. Variação da força lateral média (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fz(N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	112,54Ab	81,87Aab	58,14Aa	113,49Ab	88,31A
	Sem disco	94,56Aab	44,18Aa	67,41Aa	134,25Ab	
	MÉDIA	103,55b	63,03a	62,79a	123,87b	
HE	Com disco	147,64Ab	43,20Aa	42,21Aa	167,78Ab	105,38B
	Sem disco	141,16Ab	36,41Aa	76,99Aa	187,54Ab	
	MÉDIA	144,40b	39,81a	59,60a	177,66b	
Média Prof.		123,97b	51,42a	61,19a	150,77b	Média Disco
	Com disco	130,09Ab	62,53Aa	50,18Aa	140,64Ab	95,86A
	Sem disco	117,86Ab	40,30Aa	72,20Aa	160,90Ac	97,81A
CV(%)	29,46					

6.8.4 Força horizontal máxima

As Tabelas 16 e 17 apresentam os valores da força horizontal máxima (Fx) requerida durante a realização do ensaio. A avaliação do pico dessa força pode servir como base no projeto construtivo desses equipamentos.

De maneira geral as hastes diferiram estatisticamente quanto aos picos de força horizontal, independente da utilização do disco de corte ou não. A HE obteve um maior requerimento de força em P4 diferindo estatisticamente da HC, com um acréscimo de 16% entre elas. Com o aumento da profundidade de trabalho ocorreu aumento significativo no requerimento desse parâmetro pelas duas hastes ensaiadas, estando de acordo com Silva (2002).

Tabela 16. Variação da força horizontal máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fx max. (N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	476,40Aa	525,17Aa	504,06A
	Sem disco	496,10Aa	518,55Aa	
	MÉDIA	486,25a	521,86a	
P2	Com disco	786,75Aa	933,25Aa	904,25B
	Sem disco	918,25Aa	978,75Aa	
	MÉDIA	852,50a	956,00a	
P3	Com disco	1125,75Aa	1135,50Aa	1181,50C
	Sem disco	1123,00Aa	1341,75Aa	
	MÉDIA	1124,37a	1238,62a	
P4	Com disco	1421,00Aa	1962,50Ab	1654,31D
	Sem disco	1405,75Aa	1868,00Ab	
	MÉDIA	1413,37a	1915,25b	
Média Haste		969,12a	1157,93b	Média Disco
	Com disco	952,47Aa	1139,11Ab	1045,79A
	Sem disco	985,77Aa	1176,76Ab	1081,27A
CV(%)	14,45			

Tabela 17. Variação da força horizontal máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fx max. (N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	476,40Aa	786,75Ab	1125,75Ac	1421,00Ad	969,12A
	Sem disco	496,10Aa	918,25Ab	1123,00Abc	1405,75Ac	
	MÉDIA	486,25a	852,50b	1124,37c	1413,37d	
HE	Com disco	525,17Aa	933,25Ab	1135,50Ab	1962,50Ac	1157,93B
	Sem disco	518,55Aa	978,75Ab	1341,75Ac	1868,00Ad	
	MÉDIA	521,86a	956,00b	1238,62c	1915,25d	
Média Prof.		504,06a	904,25b	1181,50c	1654,31d	Média Disco
	Com disco	500,79Aa	860,00Ab	1130,62Ac	1691,75Ad	1045,79A
	Sem disco	507,32Aa	948,50Ab	1232,37Ac	1636,87Ad	1081,27A
CV(%)	14,45					

6.8.5 Força vertical máxima

Tabela 18. Variação da força vertical máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fy max. (N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	294,82Aa	291,05Aa	272,46A
	Sem disco	263,75Aa	240,22Aa	
	MÉDIA	279,29a	265,64a	
P2	Com disco	251,07Aa	307,10Ab	283,83A
	Sem disco	271,70Aa	338,35Ab	
	MÉDIA	261,39a	322,75b	
P3	Com disco	249,82Aa	289,32Aa	292,06A
	Sem disco	394,12Aa	302,05Aa	
	MÉDIA	271,97a	295,69a	
P4	Com disco	295,40Aa	290,45Aa	304,81A
	Sem disco	271,15Aa	362,25Bb	
	MÉDIA	283,27a	326,35b	
Média Haste		273,98a	302,60b	Média Disco
	Com disco	272,78Aa	294,48Aa	283,63A
	Sem disco	275,18Aa	310,72Ab	292,95A
CV(%)	12,89			

Tabela 19. Variação da força vertical máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fy max. (N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	294,82Aa	251,07Aa	249,82Aa	295,40Aa	273,98A
	Sem disco	263,75Aa	271,70Aa	294,12Aa	271,15Aa	
	MÉDIA	279,29a	261,39a	271,97a	283,27a	
HE	Com disco	291,05Aa	307,10Aa	289,32Aa	290,45Aa	302,60B
	Sem disco	240,22Aa	338,35Ab	302,05Aab	362,25Bb	
	MÉDIA	265,64a	322,72b	295,69ab	326,35b	
Média Prof.		272,46a	283,83a	292,06a	304,81a	Média Disco
	Com disco	292,94Ba	279,09Aa	269,57Aa	292,92Aa	283,63A
	Sem disco	251,99Aa	305,02Ab	298,09Aab	316,70Ab	292,95A
CV(%)	12,89					

As Tabelas 18 e 19 mostram os valores máximos da força vertical encontrados. Esse parâmetro não apresentou diferença significativa nas diferentes profundidades de trabalho. Esse fato pode estar relacionado com a não variação da carga vertical na barra porta ferramentas, o que interfere diretamente sobre a força vertical. A haste experimental diferiu estatisticamente da haste comercial, apresentando um valor de aproximadamente 11% maior. A utilização do disco de corte não interferiu estatisticamente neste parâmetro.

6.8.6 Força lateral máxima

A força lateral máxima mostra a tendência máxima ao deslocamento lateral em relação ao sentido do movimento pelos mecanismos sulcadores. De maneira geral não houve diferença estatística entre as hastes, as profundidades e quanto ao uso ou não do disco de corte. Isto nos mostra que as hastes tiveram comportamento semelhante com relação a o deslocamento lateral máximo.

Tabela 20. Variação da força lateral máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fz max. (N)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	162,42Aa	208,85Aa	189,96A
	Sem disco	140,85Aa	247,72Aa	
	MÉDIA	151,64a	228,29a	
P2	Com disco	104,05Aa	102,69Aa	321,28A
	Sem disco	971,47Bb	106,90Aa	
	MÉDIA	537,76a	104,79a	
P3	Com disco	123,15Aa	103,85Aa	135,50A
	Sem disco	150,70Aa	164,30Aa	
	MÉDIA	136,92a	134,07a	
P4	Com disco	195,60Aa	249,50Aa	247,91A
	Sem disco	270,45Aa	276,07Aa	
	MÉDIA	233,02a	262,79a	
Média Haste		264,84a	182,48a	Média Disco
	Com disco	146,31Aa	166,22Aa	156,26A
	Sem disco	383,37Aa	198,75Aa	291,06A
CV(%)	196,55			

Tabela 21. Variação da força lateral máxima (N) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fz max. (N)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	162,42Aa	104,05Aa	123,15Aa	195,60Aa	264,84A
	Sem disco	140,85Aa	971,47Bb	150,70Aab	270,45Aab	
	MÉDIA	151,64a	537,76a	136,92a	233,02a	
HE	Com disco	208,85Aa	102,69Aa	103,85Aa	249,50Aa	182,48A
	Sem disco	247,72Aa	106,90Aa	164,30Aa	276,07Aa	
	MÉDIA	228,29a	104,80a	134,07a	262,78a	
Média Prof.		189,96a	321,28a	135,50a	247,91a	Média Disco
	Com disco	185,64Aa	103,37Aa	113,50Aa	222,55Aa	156,26A
	Sem disco	194,29Aa	539,19Aa	557,50Aa	273,26Aa	291,06A
CV(%)	196,55					

6.8.7 Força horizontal média por área de solo mobilizado

As Tabelas 22 e 23 demonstram os valores da força horizontal média (F_x) por área de solo mobilizado. Como se observa, as hastes com e sem a utilização do disco de corte não apresentaram diferença significativa para esse parâmetro. Com relação as profundidades de trabalho pode-se notar que as profundidades P1 e P4 foram as que apresentaram maiores valores deste parâmetro, isto provavelmente ocorreu devido as hastes não estarem trabalhando nas profundidades adequadas para suas dimensões, concordando com Spoor e Godwin (1978) e Siqueira et al. (2000) que afirmam que dimensões adequadas das hastes e outros parâmetros como profundidade adequada de trabalho trazem benefícios em relação ao requerimento de forças.

Tabela 22. Variação da força da força horizontal média ($N.cm^{-2}$) pela área de solo mobilizado (ASM) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fx/ASM ($N.cm^{-2}$)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	2,57Aa	2,24Aa	2,50B
	Sem disco	2,50Aa	2,69Aa	
	MÉDIA	2,54a	2,47a	
P2	Com disco	2,18Aa	2,28Ba	1,91A
	Sem disco	1,64Aa	1,54Aa	
	MÉDIA	1,91a	1,91a	
P3	Com disco	1,99Aa	1,56Aa	1,73A
	Sem disco	1,51Aa	1,84Aa	
	MÉDIA	1,75a	1,70a	
P4	Com disco	1,71Aa	2,23Aa	2,12AB
	Sem disco	1,94Aa	2,59Ab	
	MÉDIA	1,82a	2,41b	
Média Haste		2,00a	2,12a	Média Disco
	Com disco	2,11Aa	2,08Aa	2,09A
	Sem disco	1,90Aa	2,17Aa	2,03A
CV(%)	21,48			

Tabela 23. Variação da força da força horizontal média (N.cm^{-2}) pela área de solo mobilizado (ASM) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

.Fx/ASM (N.cm^{-2})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	2,57Ab	2,18Aab	1,99Aab	1,71Aa	2,00A
	Sem disco	2,50Ab	1,64Aa	1,51Aa	1,94Aab	
	MÉDIA	2,53b	1,91a	1,75a	1,82a	
HE	Com disco	2,24Aa	2,28Ba	1,56Aa	2,23Aa	2,12A
	Sem disco	2,69Ac	1,54Aa	1,84Aab	2,59Abc	
	MÉDIA	2,47b	1,91ab	1,70a	2,41b	
Média Prof.		2,50b	1,91a	1,73a	2,12ab	Média Disco
	Com disco	2,41Ab	2,23Bab	1,79Aa	1,98Aab	2,09A
	Sem disco	2,60Ab	1,59Aa	1,67Aa	2,28Ab	2,03A
CV(%)	21,48					

6.8.8 Força horizontal específica média

Como se pode observar nas tabelas 26 e 27 as hastes apresentaram diferença com relação a esse parâmetro, com HE apresentando o maior valor médio, quando comparamos as hastes dentro das profundidades de trabalho com e sem a utilização do disco de corte de palha. Este fato se deve aos maiores valores de força horizontal média obtidos por HE. As características dimensionais das hastes podem interferir diretamente, pois quando a haste ultrapassa a profundidade recomendada de trabalho, que para HE esta entre 110 à 154 mm e para HC entre 140 à 196, as características como espessura e largura das hastes podem interferir nos requerimentos de força horizontal das mesmas.

A profundidade P4 mostrou-se diferente estatisticamente das demais. A utilização do disco de corte de palha não interferiu nos valores deste parâmetro.

Tabela 24. Variação da força horizontal específica (N.mm^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Fx esp. (N.mm^{-1})		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	2,94Aa	3,18Aa	3,06A
	Sem disco	2,85Aa	3,25Ab	
	MÉDIA	2,90a	3,22b	
P2	Com disco	2,86Aa	3,02Aa	3,03A
	Sem disco	3,02Aa	3,22Aa	
	MÉDIA	2,94a	3,12a	
P3	Com disco	3,26Aa	3,23Aa	3,27A
	Sem disco	3,10Aa	3,48Aa	
	MÉDIA	3,18a	3,37b	
P4	Com disco	3,32Aa	4,38Ab	3,85B
	Sem disco	3,38Aa	4,33Ab	
	MÉDIA	3,35a	4,36b	
Média Haste		3,09a	3,51b	Média Disco
	Com disco	3,10Aa	3,45Ab	3,27A
	Sem disco	3,09Aa	3,57Ab	3,33A
CV(%)	8,50			

Tabela 25. Variação da força horizontal específica (N.mm^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Fx/esp. (N.mm^{-1})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	2,94Aa	2,86Aa	3,26Aa	3,32Aa	3,09A
	Sem disco	2,85Aa	3,02Aab	3,10Aab	3,38Ab	
	MÉDIA	2,90a	2,94a	3,18ab	3,35b	
HE	Com disco	3,18Aa	3,02Aa	3,23Aa	4,38Ab	3,51B
	Sem disco	3,26Aa	3,22Aa	3,48Aa	4,33Ab	
	MÉDIA	3,22a	3,12a	3,36a	4,36b	
Média Prof.		3,06a	3,03a	3,27a	3,85b	Média Disco
	Com disco	3,06Aa	2,94Aa	3,24Aa	3,85Ab	3,27A
	Sem disco	3,06Aa	3,12Aa	3,29Aa	3,86Ab	3,33A
CV(%)	8,50					

6.9 Médias dos momentos

Os dados são referentes aos momentos M_y (momento transversal) e a M_z (momento longitudinal), sendo apresentados os momentos médios e máximos.

6.9.1 Médias do momento transversal (M_y)

As Tabelas 26 e 27 apresentam os valores do momento transversal médio. As hastes apresentaram diferença significativa para M_y , sendo que HE apresentou um valor 16% maior quando comparada com HC, isso pode ser explicado pelo maior valor da força lateral obtida por HE, pois momento é o produto da força pela distância.

Tabela 26. Variação do momento transversal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

M_y ($N.m^{-1}$)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	121,35Aa	182,01Aa	161,91A
	Sem disco	132,98Aa	211,28Aa	
	MÉDIA	127,16a	196,65a	
P2	Com disco	470,27Aa	539,30Aa	539,13B
	Sem disco	546,99Aa	599,94Aa	
	MÉDIA	508,63a	569,62a	
P3	Com disco	815,24Aa	815,28Aa	827,37C
	Sem disco	783,15Aa	895,80Aa	
	MÉDIA	799,22a	855,52a	
P4	Com disco	1039,35Aa	1369,27Ab	1221,05D
	Sem disco	1106,39Aa	1369,20Ab	
	MÉDIA	1072,87a	1369,23b	
Média Haste		626,97a	747,76b	Média Disco
	Com disco	611,56Aa	726,46Ab	169,01A
	Sem disco	642,38Aa	769,06Ab	705,72A
CV(%)	11,93			

Tabela 27. Variação do momento transversal médio (N.m^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

My (N.m^{-1})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	121,35Aa	470,27Ab	815,28Ac	1039,35Ad	626,97A
	Sem disco	132,98Aa	546,99Ab	783,15Ac	1106,39Ad	
	MÉDIA	127,16a	508,63b	799,22c	1072,87d	
HE	Com disco	182,01Aa	539,30Ab	815,27Ac	1369,27Ad	747,76B
	Sem disco	211,28Aa	599,94Ab	895,80Ac	1369,20Ad	
	MÉDIA	196,65a	569,62b	855,52c	1369,23d	
Média Prof.		161,91a	539,13b	827,37c	1221,05d	Média Disco
	Com disco	151,68Aa	504,79Ab	815,26Ac	1204,31Ad	169,01A
	Sem disco	172,13Aa	573,47Ab	839,48Ac	1237,80Ad	705,72A
CV(%)	11,93					

As profundidades também diferiram estatisticamente quando às comparamos, um dos fatores que contribuíram para isto foi o aumento do tamanho da haste sulcadora para atingir profundidades mais elevadas, aumentando conseqüentemente a distância do ponto de aplicação de força. A utilização do disco de corte não interferiu nos valores deste parâmetro.

6.9.2 Médias do momento longitudinal (M_z)

Como se pode observar as hastes foram estatisticamente diferentes, com HE apresentando o maior valor. As profundidades P1, P2 e P3 diferiram entre si, sendo que P3 e P4 foram estatisticamente semelhantes. A utilização do disco de corte apresentou diferença significativa. Os valores e as diferenças obtidas estão relacionados com os valores da força horizontal requerida pelas hastes, assim como o comprimento das mesmas modificando o ponto de atuação das forças.

Tabela 28. Variação do momento longitudinal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Mz ($N.m^{-1}$)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	35,72a	61,03b	53,46A
	Sem disco	53,70a	63,37a	
	MÉDIA	44,71a	62,20b	
P2	Com disco	74,25a	78,16b	74,16B
	Sem disco	69,92a	74,31a	
	MÉDIA	76,23a	72,08a	
P3	Com disco	107,01b	83,63a	88,22C
	Sem disco	77,75a	84,51a	
	MÉDIA	82,39a	84,07a	
P4	Com disco	106,64a	121,20b	96,64C
	Sem disco	51,68a	107,03b	
	MÉDIA	79,16a	114,11b	
Média Haste		73,12a	83,12b	Média Disco
	Com disco	81,88Ba	85,03Aa	83,45B
	Sem disco	64,36Aa	81,21Ab	72,78A
CV(%)	12,84			

Tabela 29. Variação do momento longitudinal médio ($N.m^{-1}$) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Mz ($N.m^{-1}$)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	35,72Aa	78,16Ab	107,01Bc	106,64Bc	73,12A
	Sem disco	53,70Ba	74,31Ab	77,35Ac	51,68Aa	
	MÉDIA	44,71a	76,23b	92,38c	79,16bc	
HE	Com disco	61,03Aa	74,25Aab	83,63Ab	121,20Ac	83,12B
	Sem disco	63,37Aa	69,92Aab	84,51Ab	107,03Ac	
	MÉDIA	62,20a	72,05ab	84,07b	114,11c	
Média Prof.		53,46a	74,16b	88,22c	96,64c	Média Disco
	Com disco	48,38Aa	76,20Ab	95,32Bc	113,92Bd	83,45B
	Sem disco	58,54Ba	72,11Ab	81,13Ab	79,35Ab	72,78A
CV(%)	12,84					

6.9.3 Momento transversal (My) máximo

As hastes, no geral, diferiram estatisticamente quanto a esse parâmetro, com HE apresentando valores 14% maiores do que HC, independente da utilização do disco de corte ou não. A utilização do disco não apresentou diferença significativa em nenhuma situação. Ocorreu diferença também entre as profundidades de trabalho, fato esperado devido ao aumento das profundidades trabalhadas.

Tabela 30. Variação do momento transversal (N.m^{-1}) máximo comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

My (N.m^{-1})		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	211,53Aa	303,43Aa	265,14A
	Sem disco	240,65Aa	304,98Aa	
	MÉDIA	226,09a	304,20a	
P2	Com disco	645,30Aa	829,45Ab	777,82B
	Sem disco	783,03Aa	853,50Aa	
	MÉDIA	714,16a	841,48b	
P3	Com disco	1045,50Aa	1086,00Aa	1077,13C
	Sem disco	1023,75Aa	1153,25Aa	
	MÉDIA	1034,63a	1119,63a	
P4	Com disco	1310,50Aa	1609,25Ab	1460,25D
	Sem disco	1436,25Aa	1485,00Aa	
	MÉDIA	1373,38a	1547,13b	
Média Haste		837,06a	953,11b	Média Disco
	Com disco	803,21Aa	957,03Ab	880,12A
	Sem disco	870,92Aa	949,18Aa	910,05A
CV(%)	14,08			

Tabela 31. Variação do momento transversal (N.m^{-1}) máximo comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

My (N.m^{-1})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	211,53Aa	645,30Ab	1045,50Ac	1310,50Ad	837,21A
	Sem disco	240,65Aa	783,03Ab	1023,75Ac	1436,25Ad	
	MÉDIA	226,09a	714,16b	1034,63c	1373,38d	
HE	Com disco	303,43Aa	829,45Ab	1086,00Ac	1609,25Ad	953,11B
	Sem disco	304,98Aa	853,50Ab	1153,25Ac	1483,00Ad	
	MÉDIA	304,20a	841,48b	1119,63c	1547,13d	
Média Prof.		265,14a	777,82b	1077,13c	1460,25d	Média Disco
	Com disco	257,48Aa	737,38Ab	1065,75Ac	1459,88Ad	880,12A
	Sem disco	272,81Aa	818,26Ab	1088,50Ac	1460,63Ad	910,05A
CV(%)	14,08					

6.9.4 Momento longitudinal (Mz) máximo

Tabela 32. Variação do momento longitudinal máximo (N.m^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Mz max. (N.m^{-1})		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	36,61Aa	79,90Ab	68,84A
	Sem disco	75,91Ba	82,92Aa	
	MÉDIA	56,26a	81,41b	
P2	Com disco	115,65Aa	104,90Aa	107,29B
	Sem disco	99,70Aa	108,90Aa	
	MÉDIA	107,67a	106,90a	
P3	Com disco	144,17Bb	124,87Aa	129,24C
	Sem disco	117,10Aa	130,80Aa	
	MÉDIA	130,64a	127,84a	
P4	Com disco	140,92Ba	158,90Ab	132,83D
	Sem disco	81,76Aa	149,72Ab	
	MÉDIA	111,34a	154,31b	
Média Haste		101,48a	117,61b	Média Disco
	Com disco	109,34Ba	117,14Aa	113,24B
	Sem disco	93,62Aa	118,09Ab	105,85A
CV(%)	11,00			

Tabela 33. Variação do momento longitudinal máximo (N.m^{-1}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Mz max. (N.m^{-1})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	36,61Aa	115,65Ab	144,17Bc	140,92Bc	101,48A
	Sem disco	75,91Ba	99,70Abc	117,10Ac	81,76Aab	
	MÉDIA	56,26a	107,67b	130,64c	111,34b	
HE	Com disco	79,90Aa	104,90Ab	124,87Ab	158,90Ac	117,61B
	Sem disco	82,92Aa	108,90Ab	130,80Abc	149,72Ac	
	MÉDIA	81,41a	106,90b	127,83c	154,31d	
Média Prof.		68,84a	107,29b	129,24c	132,83d	Média Disco
	Com disco	58,25Aa	110,27Ab	134,52Ac	149,91Bc	113,24B
	Sem disco	79,42Ba	104,30Ab	123,95Ac	115,74Abc	105,85A
CV(%)	11,00					

Em relação ao momento longitudinal máximo pode-se notar um aumento desse parâmetro com o aumento da profundidade de trabalho. As hastes diferiram estatisticamente devido ao requerimento da força horizontal máxima entre elas. HC apresentou diferença estatística nesse parâmetro com relação ao uso do disco de corte, isso se explica pelo requerimento de força horizontal do próprio disco de corte, concordando com Chang et al. (1986), Kushwaha et al. (1986) e Mion (2002) que encontraram valores consideráveis no requerimento de força horizontal de discos de corte de palha.

6.10 Potência

Nos itens a seguir são apresentados os dados de potencia média, potência máxima e potência média por área de solo mobilizado.

6.10.1 Potência média

Nas Tabelas 34 e 35, são apresentados os valores de potência média requerida pelas hastes sulcadoras. Os maiores valores de potência média são observados em HE, isso se deve pelos maiores valores de força horizontal média requeridos por essa haste, pois a velocidade de trabalho não variou a ponto de interferir na potência. De maneira geral a potência média variou de acordo com os dados apresentados para força horizontal média. As maiores diferenças entre as hastes ocorreram em P4, com um aumento médio entre elas de 13% com relação a esse parâmetro. Isso pode ser explicado pelas diferenças dimensionais entre as hastes, concordando com Siqueira (2000). A presença do disco de corte não apresentou diferença significativa. As profundidades trabalhadas apresentaram diferença entre elas, devido também ao aumento da força horizontal requerido pelas hastes.

Tabela 34. Variação da potência média (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Potência média (kW)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	0,66Aa	0,68Aa	0,69A
	Sem disco	0,66Aa	0,74Aa	
	MÉDIA	0,66a	0,71a	
P2	Com disco	1,13Aa	1,12Aa	1,17B
	Sem disco	1,17Aa	1,24Aa	
	MÉDIA	1,15a	1,18a	
P3	Com disco	1,53Aa	1,52Aa	1,53C
	Sem disco	1,45Aa	1,62Aa	
	MÉDIA	1,49a	1,57a	
P4	Com disco	1,84Aa	2,33Ab	2,11D
	Sem disco	1,84Aa	2,41Ab	
	MÉDIA	1,18a	2,37b	
Média Haste		1,29a	1,46b	Média Disco
	Com disco	1,29Aa	1,41Ab	1,35A
	Sem disco	1,28Aa	1,50Ab	1,39A
CV(%)	10,06			

Tabela 35. Variação da potência média (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Potência média (kW)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	0,66Aa	1,13Ab	1,53Ac	1,84Ad	1,29A
	Sem disco	0,66Aa	1,17Ab	1,45Ac	1,84Ad	
	MÉDIA	0,66a	1,15b	1,49c	1,84d	
HE	Com disco	0,68Aa	1,12Ab	1,52Ac	1,33Ad	1,46B
	Sem disco	0,74Aa	1,24Ab	1,62Ac	2,41Ad	
	MÉDIA	0,71a	1,18b	1,57c	2,37d	
Média Prof.		0,69a	1,17b	1,53c	2,11d	Média Disco
	Com disco	0,67Aa	1,13Ab	1,53Ac	2,08Ad	1,35A
	Sem disco	0,70Aa	1,21Ab	1,54Ac	2,13Ad	1,39A
CV(%)						

6.10.2 Potência máxima

Tabela 36. Variação da potência máxima (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Potência máxima (kW)		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	0,80Aa	0,83Aa	0,84A
	Sem disco	0,84Aa	0,86Aa	
	MÉDIA	0,82a	0,85a	
P2	Com disco	1,33Aa	1,47Aa	1,45B
	Sem disco	1,51Aa	1,60Aa	
	MÉDIA	1,42a	1,53a	
P3	Com disco	1,88Aa	1,86Aa	1,90C
	Sem disco	1,84Aa	2,18Aa	
	MÉDIA	1,86a	2,02a	
P4	Com disco	2,34Aa	3,11Ab	2,70D
	Sem disco	2,28Aa	3,09Ab	
	MÉDIA	2,31a	3,10b	
Média Haste		1,60a	1,88b	Média Disco
	Com disco	1,59Aa	1,82Ab	1,70A
	Sem disco	1,62Aa	1,93Ab	1,77A
CV(%)		14,88		

Tabela 37. Variação da potência máxima (kW) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Potência máxima (kW)		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	0,80Aa	1,33Ab	1,88Ac	2,34Ac	1,60A
	Sem disco	0,84Aa	1,51Ab	1,84Abc	2,28Ac	
	MÉDIA	0,82a	1,42b	1,86c	2,30d	
HE	Com disco	0,83Aa	1,47Ab	1,86Ab	3,11Ac	1,88B
	Sem disco	0,86Aa	1,60Ab	2,18Ac	3,09Ad	
	MÉDIA	0,85a	1,53b	2,02c	3,10d	
Média Prof.		0,84a	1,45b	1,90c	2,70d	Média Disco
	Com disco	0,82Aa	1,40Ab	1,87Ac	2,72Ad	1,70A
	Sem disco	0,85Aa	1,55Ab	2,01Ac	2,68Ad	1,77A
CV(%)		14,88				

O comportamento deste parâmetro está relacionado com os valores máximos da força horizontal requeridos pelos mecanismos sulcadores. As hastes avaliadas apresentaram diferença significativa com relação a esse parâmetro, sendo que HE atingiu um valor 17,5% maior do que HC. O disco de corte não interferiu na potência máxima. As profundidades apresentaram diferença significativa entre elas, com um aumento médio de 221% quando passamos de P1 para P4, isso ocorreu devido ao aumento do requerimento de força horizontal máxima quando se aumentou a profundidade de trabalho.

6.10.3 Potência média por área de solo mobilizado

As Tabelas 38 e 39 apresentam os valores da potência média por área de solo mobilizado. Na média geral, as hastes não apresentaram diferença estatística para esse parâmetro. A profundidade P1, diferiu estatisticamente das demais, apresentando o maior requerimento de potência por área de solo mobilizado. Em P3 se encontra o menor valor entre as profundidades, isto está relacionado com a profundidade crítica de trabalho, demonstrando que as hastes tem uma otimização da potência em relação a área de solo mobilizado na

profundidade aproximada de 270 mm. A utilização do disco de corte de palha não interferiu estatisticamente neste parâmetro.

Tabela 38. Variação da potência média pela área de solo mobilizado (W.cm^{-2}) comparando as hastes com e sem disco de corte em cada profundidade de trabalho.

Pm/ASM (W.cm^{-2})		HC	HE	Média Prof.
P1	Com disco	4,33Aa	3,54Aa	4,16B
	Sem disco	4,28Aa	4,48Aa	
	MÉDIA	4,31a	4,01a	
P2	Com disco	3,67Aa	3,60Ba	3,12A
	Sem disco	2,70Aa	2,52Aa	
	MÉDIA	3,18a	3,06a	
P3	Com disco	3,32Aa	2,56Aa	2,84A
	Sem disco	2,46Aa	3,00Aa	
	MÉDIA	2,89a	2,78a	
P4	Com disco	2,81Aa	3,51Aa	3,44A
	Sem disco	3,13Aa	4,29Ab	
	MÉDIA	2,97a	3,90b	
Média Haste		3,34a	3,44a	Média Disco
		Com disco	3,53Aa	3,42A
		Sem disco	3,14Aa	3,36A
CV(%)	21,35			

Tabela 39. Variação da potência média pela área de solo mobilizado (W.cm^{-2}) comparando as hastes com e sem disco de corte entre as profundidades de trabalho.

Pm/ASM (W.cm^{-2})		P1	P2	P3	P4	Média Haste
HC	Com disco	4,33Ab	3,67Aab	3,32Aab	2,81Aa	3,34A
	Sem disco	4,28Ab	2,70Aa	2,46Aa	3,13Aab	
	MÉDIA	4,31b	3,18a	2,89a	2,97a	
HE	Com disco	3,54Aa	3,60Ba	2,56Aa	3,51Aa	3,44A
	Sem disco	4,48Ac	2,52Aa	3,00Aab	4,29Abc	
	MÉDIA	4,01b	3,06ab	2,78a	3,90b	
Média Prof.		4,16b	3,12a	2,84a	3,44a	Média Disco
	Com disco	3,94Ab	3,64Bab	2,94Aa	3,16Aab	3,42A
	Sem disco	4,38Ab	2,61Aa	2,73Aa	3,71Ab	3,36A
CV(%)	21,35					

7 CONCLUSÕES

Nas condições em que o ensaio foi conduzido os resultados obtidos permitiram chegar as seguintes conclusões:

Para a profundidade P1 (130 mm), que está dentro da profundidade de trabalho recomendada, as hastes apresentaram comportamento idêntico com relação aos parâmetros avaliados.

As hastes não devem ser utilizadas em profundidades diferentes daquela recomendada.

De todos os parâmetros avaliados, nas profundidades P2 (23 mm), P3 (28 mm) e P4 (330 mm), a haste experimental apresentou maiores valores de força horizontal média (F_x), força vertical média (F_y), força lateral média (F_z), força horizontal máxima ($F_{x \max}$), força vertical máxima ($F_{y \max}$), força média por área de solo mobilizado (F_x/ASM), força horizontal específica ($F_x \text{ esp.}$) momento transversal médio (M_y), momento longitudinal médio (M_z), momento transversal máximo ($M_{y \max}$), momento longitudinal máximo ($M_{z \max}$) potência média (P_m) e potência máxima ($P_{\max}$).

Quando as hastes ultrapassam as profundidades críticas de trabalho, a espessura e o formato das mesmas provocam um aumento significativo nos parâmetros avaliados.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABERNATHY, G. H.; PORTERFIELD, J. G. Effect of planters openers shape on furrow characteristics. **Transactions of the ASAE**, v.12, n.1, p. 16-19, 1969.

ARAÚJO, A. G. et al. 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**, Jaboticabal, v.19, p.226-237, 1999.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto: problemas e soluções. **Informe de Pesquisa Fundação Agronômica do Paraná**, Londrina, n. 137, p. 1-18, 2001.

BENEZ, S.H. **Estudo do cultivo mínimo na cultura do milho (*Zea mays L.*) em solo Podzólico Vermelho Amarelo var. Lavras**. 1972. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

BOMBARDELLI, M.; SILVA, S. de L.; PEREIRA, J. O. Demanda energética em sistemas de preparo reduzido do solo e semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais....** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. 1 CD-ROM.

CASÃO JÚNIOR, R. et al. Avaliação do desempenho da semeadora adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense. **Circular do Instituto Agrônômico do Paraná**, Londrina n.105, p.12-15, 1998.

CASÃO JÚNIOR, R. et al. Desempenho das semeadoras-adubadoras MPS 1600 e MPS 1000 Imasa em solos argilosos. **Circ. Instituto Agrônômico do Paraná**, n.111, 44p. 2000.

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

CARVALHO, R. P L. O sistema de plantio direto no estado de São Paulo: potencialidades e desafios. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 8., 2002, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: Federação Nacional de Plantio Direto na Palha, 2002. p. 29-31.

CASÃO JÚNIOR, R. et al. Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense. **Circular do Instituto Agrônômico do Paraná**, Londrina, n.105, p.12-15, 1998.

CASTRO, O.M. A pesquisa em plantio direto no estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 8., 2002, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: Federação Nacional de Plantio Direto na Palha, 2002. p.27-28.

CEPIK, C. T. C. et al. Relação entre força de tração na haste sulcadora de semeadora-adubadora e a área de solo mobilizada em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

CEPIK, C.T.C. et al. Patinagem do trator e força de tração de haste sulcadora de semeadora-adubadora de precisão em função de teores de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

CHANG, H. C.; DONALD, C. E. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, p.1530-1535, 1986.

DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.1, n.2, p. 6-9, 2001.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. Parte 1. não páginado.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FEY, E. et al. Desempenho de mecanismos sulcadores utilizados para a semeadura sob a palha em solo de textura argilosa com três teores de água. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 2., 2000, Botucatu. **Anais....** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000. p.458-467.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN. R. Semeadora-adubadora de fluxo contínuo: desempenho operacional em função de diferentes condições de preparo e cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.1, p. 60-67, 2002.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Universidade de Santa Maria, 1996. 207p.

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

KORONKA, P. Machinery development for direct drilling. **Outlook on Agriculture**, Nikes, v.7, n.4, p.190-195, 1973.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.1, p.40-44, 1986.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Shear strength of wheat straw. **Canadian Agricultural Engineering**, Saskatoon, v.25, n.2, p.163-166, 1983.

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

MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

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

PAYNE, P. C. J. The relationship between the mechanical properties of soil and performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.1, p.23-50, 1956.

PAYNE, P. C. J.; TANNER, D. W. The relationship between rake angle and performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.4, p.312-25, 1959.

PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar de forças atuantes de elementos rompedores de semeadoras comerciais**. 1983. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Mecanização Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1983.

PORTELLA, J. A.; FAGANELLO, A. Máquinas para semeadura direta: Desempenho dos elementos rompedores de solo. **Dirigente Rural**, São Paulo, v.23, p.13-26, 1984.

PORTELLA, J. A. Máquinas e implementos para plantio direto e cultivo mínimo. **Encontro Paulista de Plantio Direto**. Assis, p.143-55, 1989.

PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.17, p.71-78, 1997.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação dos solos em sistemas de plantio direto: causas, efeitos e preocupações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 8., 2002, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2002. p 125-127.

ROMANO, P. A. Plantio direto e recursos hídricos. In: CARDOSO, F.P. et al. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: Embrapa – SPI, 1997. p.75-82.

SILVA, S. de L. **Avaliação de semeadoras de plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.** 2000. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, P. R. A. **Avaliação de mecanismos de abertura de sulco de semeadora-adubadora em semeadura direta na cultura do milho (*Zea mays* L.).** 2003. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SIQUEIRA, R. et al. Demanda energética do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R. et al. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Angulo ideal. **Cultivar Máquinas, Pelotas**, n.13, p.30-32, 2002.

SINGE, G.; SINGE, D. Optimum energy model for tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.6, p.235-245, 1986.

SUMMERS, J. D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D. G. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, p.37-39, 1986.

TAMAYO, J, H, C. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para práticas de cultivo.** 2002. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Máquinas Agrícolas) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2002.

TESSIER, S. et al. Roughness meter to measure seed row geometry and soil disturbance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.32, p.1871-1873, 1989.

TICE, E. M.; HENDRICK, J. G. Disc coulter operating characteristics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.1, p.3-10, 1992.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Análise de variância dos dados médios para as variáveis estudadas.

Variável analisada: Fx

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	12949.521655	4316.507218	0.593	0.6225
haste	1	234656.681189	234656.681189	32.263	0.0000
prof	3	6620447.967617	2206815.989206	303.416	0.0000
disco	1	5081.729439	5081.729439	0.699	0.4076
haste*prof	3	249246.251305	83082.083768	11.423	0.0000
haste*disco	1	1635.494702	1635.494702	0.225	0.6377
prof*disco	3	5128.898105	1709.632702	0.235	0.8716
haste*prof*disco	3	11442.032517	3814.010839	0.524	0.6677
erro	45	327295.433770	7273.231862		
Total corrigido	63	7467884.010298			
CV (%) =	10.16				
Média geral:	839.7798438	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fy

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	744.624906	248.208302	1.043	0.3827
haste	1	19972.755625	19972.755625	83.940	0.0000
prof	3	5187.126969	1729.042323	7.267	0.0004
disco	1	12.531600	12.531600	0.053	0.8195
haste*prof	3	7418.974350	2472.991450	10.393	0.0000
haste*disco	1	1433.947556	1433.947556	6.027	0.0180
prof*disco	3	67.568725	22.522908	0.095	0.9628
haste*prof*disco	3	2769.195769	923.065256	3.879	0.0150
erro	45	10707.295194	237.939893		
Total corrigido	63	48314.020694			
CV (%) =	7.66				
Média geral:	201.2771875	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fz

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	3037.159705	1012.386568	1.244	0.3051
haste	1	4656.868202	4656.868202	5.721	0.0210
prof	3	111655.746130	37218.582043	45.723	0.0000
disco	1	61.015627	61.015627	0.075	0.7855
haste*prof	3	15787.728530	5262.576177	6.465	0.0010
haste*disco	1	1118.484414	1118.484414	1.374	0.2473
prof*disco	3	6098.186155	2032.728718	2.497	0.0717
haste*prof*disco	3	619.859367	206.619789	0.254	0.8583
erro	45	36630.070720	814.001572		
Total corrigido	63	179665.118848			
CV (%) =	29.46				
Média geral:	96.8373437	Número de observações:	64		

Variável analisada: My

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	27202.679456	9067.559819	1.348	0.2707
haste	1	233436.338256	233436.338256	34.714	0.0000
prof	3	9640050.976031	3213350.325344	477.848	0.0000
disco	1	21559.783056	21559.783056	3.206	0.0801
haste*prof	3	164773.543281	54924.514427	8.168	0.0002
haste*disco	1	555.662756	555.662756	0.083	0.7751
prof*disco	3	5812.839056	1937.613019	0.288	0.8338
haste*prof*disco	3	17216.052406	5738.684135	0.853	0.4722
erro	45	302608.105444	6724.624565		
Total corrigido	63	10413215.979744			
CV (%) =	11.93				
Média geral:	687.3640625	Número de observações:	64		

Variável analisada: Mz

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	635.927956	211.975985	2.107	0.1126
haste	1	1599.200100	1599.200100	15.896	0.0002
prof	3	17102.128719	5700.709573	56.664	0.0000
disco	1	1822.222656	1822.222656	18.113	0.0001
haste*prof	3	4857.106450	1619.035483	16.093	0.0000
haste*disco	1	751.034025	751.034025	7.465	0.0090
prof*disco	3	4243.151819	1414.383940	14.059	0.0000
haste*prof*disco	3	2065.437475	688.479158	6.843	0.0007
erro	45	4527.235194	100.605227		
Total corrigido	63	37603.444394			
CV (%) =	12.84				
Média geral:	78.1196875	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fxmax

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	48442.689219	16147.563073	0.684	0.5667
haste	1	570383.681406	570383.681406	24.147	0.0000
prof	3	11411800.456719	3803933.485573	161.039	0.0000
disco	1	20139.157656	20139.157656	0.853	0.3607
haste*prof	3	537264.631719	179088.210573	7.582	0.0003
haste*disco	1	75.907656	75.907656	0.003	0.9550
prof*disco	3	64818.110469	21606.036823	0.915	0.4414
haste*prof*disco	3	57974.660469	19324.886823	0.818	0.4907
erro	45	1062955.038281	23621.223073		
Total corrigido	63	13773854.333594			
CV (%) =	14.45				
Média geral:	1063.5296875	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fymax

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	9819.843125	3273.281042	2.370	0.0831
haste	1	13104.525625	13104.525625	9.487	0.0035
prof	3	8921.085625	2973.695208	2.153	0.1068
disco	1	1389.425625	1389.425625	1.006	0.3213
haste*prof	3	12360.873125	4120.291042	2.983	0.0411
haste*disco	1	765.905625	765.905625	0.554	0.4604
prof*disco	3	13522.053125	4507.351042	3.263	0.0299
haste*prof*disco	3	9959.630625	3319.876875	2.403	0.0799
erro	45	62159.411875	1381.320264		
Total corrigido	63	132002.754375			
CV (%) =	12.89				
Média geral:	288.2906250	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fzmax

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	717872.648042	239290.882681	1.238	0.3070
haste	1	108506.830514	108506.830514	0.561	0.4576
prof	3	304402.081667	101467.360556	0.525	0.6673
disco	1	290713.724452	290713.724452	1.504	0.2264
haste*prof	3	668408.869667	222802.956556	1.153	0.3382
haste*disco	1	167339.287577	167339.287577	0.866	0.3571
prof*disco	3	487359.811230	162453.270410	0.841	0.4788
haste*prof*disco	3	584872.252855	194957.417618	1.009	0.3977
erro	45	8696621.712633	193258.260281		
Total corrigido	63	12026097.218636			
CV (%) =	196.55				
Média geral:	223.6620313	Número de observações:	64		

Variável analisada: Mzmax

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	1646.795706	548.931902	3.780	0.0167
haste	1	4166.379756	4166.379756	28.694	0.0000
prof	3	41474.687619	13824.895873	95.211	0.0000
disco	1	873.645806	873.645806	6.017	0.0181
haste*prof	3	5783.659369	1927.886456	13.277	0.0000
haste*disco	1	1111.055556	1111.055556	7.652	0.0082
prof*disco	3	6178.240419	2059.413473	14.183	0.0000
haste*prof*disco	3	4190.822669	1396.940890	9.621	0.0000
erro	45	6534.105994	145.202355		
Total corrigido	63	71959.392894			
CV (%) =	11.00				
Média geral:	109.5471875	Número de observações:	64		

Variável analisada: Fx/Ar

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	0.791380	0.263793	1.341	0.2729
haste	1	0.224439	0.224439	1.141	0.2911
prof	3	5.318205	1.772735	9.013	0.0001
disco	1	0.063127	0.063127	0.321	0.5739
haste*prof	3	1.178530	0.392843	1.997	0.1279
haste*disco	1	0.361502	0.361502	1.838	0.1820
prof*disco	3	2.100592	0.700197	3.560	0.0214
haste*prof*disco	3	0.535267	0.178422	0.907	0.4451
erro	45	8.851145	0.196692		
Total corrigido	63	19.424186			
CV (%) =	21.48				
Média geral:	2.0645312	Número de observações:	64		

Variável analisada: km/h

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	0.110625	0.036875	1.785	0.1635
haste	1	0.330625	0.330625	16.009	0.0002
prof	3	0.130625	0.043542	2.108	0.1125
disco	1	0.040000	0.040000	1.937	0.1709
haste*prof	3	0.125625	0.041875	2.028	0.1235
haste*disco	1	0.250000	0.250000	12.105	0.0011
prof*disco	3	0.141250	0.047083	2.280	0.0922
haste*prof*disco	3	0.076250	0.025417	1.231	0.3096
erro	45	0.929375	0.020653		
Total corrigido	63	2.134375			
CV (%) =	2.43				
Média geral:	5.9093750	Número de observações:	64		

Variável analisada: Potm

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	0.016380	0.005460	0.286	0.8356
haste	1	0.474377	0.474377	24.814	0.0000
prof	3	17.181830	5.727277	299.580	0.0000
disco	1	0.026814	0.026814	1.403	0.2425
haste*prof	3	0.686980	0.228993	11.978	0.0000
haste*disco	1	0.036577	0.036577	1.913	0.1734
prof*disco	3	0.011342	0.003781	0.198	0.8975
haste*prof*disco	3	0.010930	0.003643	0.191	0.9024
erro	45	0.860295	0.019118		
Total corrigido	63	19.305523			
CV (%) =	10.06				
Média geral:	1.3739063	Número de observações:	64		

Variável analisada: Potmax

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	0.176917	0.058972	0.881	0.4583
haste	1	1.201764	1.201764	17.944	0.0001
prof	3	29.700280	9.900093	147.819	0.0000
disco	1	0.084827	0.084827	1.267	0.2664
haste*prof	3	1.466355	0.488785	7.298	0.0004
haste*disco	1	0.027639	0.027639	0.413	0.5239
prof*disco	3	0.098367	0.032789	0.490	0.6912
haste*prof*disco	3	0.102280	0.034093	0.509	0.6780
erro	45	3.013858	0.066975		
Total corrigido	63	35.872286			
CV (%) =	14.88				
Média geral:	1.7395313	Número de observações:	64		

Variável analisada: Pm/asm

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	1.751519	0.583840	1.115	0.3531
haste	1	0.164025	0.164025	0.313	0.5785
prof	3	15.546556	5.182185	9.895	0.0000
disco	1	0.058806	0.058806	0.112	0.7391
haste*prof	3	3.749788	1.249929	2.387	0.0815
haste*disco	1	1.742400	1.742400	3.327	0.0748
prof*disco	3	6.303081	2.101027	4.012	0.0130
haste*prof*disco	3	1.174938	0.391646	0.748	0.5293
erro	45	23.568081	0.523735		
Total corrigido	63	54.059194			
CV (%) =	21.35				
Média geral:	3.3896875	Número de observações:	64		

Variável analisada: Pmax/asm

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
bloco	3	3.594755	1.198252	1.221	0.3132
haste	1	0.606452	0.606452	0.618	0.4360
prof	3	20.004005	6.668002	6.792	0.0007
disco	1	0.000352	0.000352	0.000	0.9850
haste*prof	3	8.097317	2.699106	2.749	0.0537
haste*disco	1	1.449014	1.449014	1.476	0.2307
prof*disco	3	7.588367	2.529456	2.577	0.0655
haste*prof*disco	3	3.021955	1.007318	1.026	0.3901
erro	45	44.176270	0.981695		
Total corrigido	63	88.538486			
CV (%) =	23.32				
Média geral:	4.2495313	Número de observações:	64		