

PARÂMETROS PARA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO DO CERRADO

**Claudio Alberto Bento Franz
Sergio Mauro Folle
Francisco Eduardo de Castro Rocha**

Embrapa

Cerrados



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Cerrados

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

PARÂMETROS PARA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO DO CERRADO

Claudio Alberto Bento Franz
Sergio Mauro Folle
Francisco Eduardo de Castro Rocha

ISSN 1517-5111

Doc. - Embrapa Cerrados	Planaltina	n. 22	p.1-19	dez. 2000
-------------------------	------------	-------	--------	-----------

Copyright © Embrapa – 2000
Embrapa Cerrados. Documentos, 22

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Cerrados
BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73301-970 – Planaltina, DF
Telefone (61) 388-9898 – Fax (61) 388-9879

Tiragem: 100 exemplares

Comitê de Publicações:

Ronaldo Pereira de Andrade (Presidente), Maria Alice Bianchi, Leide Rovênia Miranda de Andrade, Carlos Roberto Spehar, José Luiz Fernandes Zoby e Nilda Maria da Cunha Sette (Secretária-Executiva).

Coordenação editorial: Nilda Maria da Cunha Sette

Revisão gramatical: Maria Helena Gonçalves Teixeira

Normalização bibliográfica: Maria Alice Bianchi

Diagramação e arte-final: Leila Sandra Gomes Alencar

Capa: Leila Sandra Gomes Alencar

Impressão e acabamento: Jaime Arbués Carneiro / Divino Batista de Souza

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

F837p Franz, Claudio Alberto Bento
Parâmetros para mecanização agrícola na região do Cerrado / Claudio
Alberto Bento Franz, Sergio Mauro Folle, Francisco Eduardo de Castro
Rocha. – Planaltina : Embrapa Cerrados, 2000.
19p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; n.22)

1.Mecanização agrícola - Cerrado. I. Folle, Sergio Mauro. II. Rocha,
Francisco Eduardo de Castro. III. Título. IV. Série.

631.3 - CDD 21

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	5
INTRODUÇÃO	6
MECANIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	7
<i>Operações</i>	8
<i>Planejamento</i>	10
PARÂMETROS ENERGÉTICOS E EFEITOS NO SOLO	11
<i>Relação máquina/solo</i>	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

PARÂMETROS PARA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO DO CERRADO

Claudio Alberto Bento Franz¹; Sergio Mauro Folle¹;
Francisco Eduardo de Castro Rocha¹

RESUMO - Os produtores rurais, os fabricantes de máquinas e os órgãos de financiamento não dispõem de suficientes informações técnicas que permitam a definição correta da quantidade e da qualidade das máquinas agrícolas, causando com isso o sub ou superdimensionamento conforme o caso, dos parques mecanizados. Esses fatores acarretam consequências efetivas nos resultados do seu negócio na região do Cerrado, tais como: a incapacidade de preparar o solo em condições aceitáveis no tempo disponível ou o uso excessivo de máquinas e, em ambas as situações, haverá o comprometimento do solo, da produtividade e dos lucros. Em quaisquer desses casos, os parâmetros máquina/solo são primordiais para o planejamento, para o uso e para a seleção de parques mecanizados. Os objetivos deste trabalho são transferir resultados de pesquisas e conhecimentos em que se incluem potência necessária para operação dos diferentes implementos de preparo do solo, em diferentes condições operacionais, tais como: umidade do solo, regulagens, velocidades de trabalho, bem como os resultados dessas operações para o planejamento e uso de parques mecanizados.

Palavras-chave: mecanização agrícola, parâmetros máquina/solo, energia, planejamento de máquinas agrícolas.

PARAMETERS FOR AGRICULTURAL MECHANIZATION IN THE CERRADO REGION

ABSTRACT - The farms, machines manufacturers and the financing organisms don't have enough technical information that allow the correct definition of the amount and quality of the agricultural machines, causing with this a under or over size in some cases in other, of the fled machinery, with direct consequences in the results of its business in the area of the Cerrados Region. These consequences cannot, for example, to be the inability of preparing the soil in acceptable conditions in the available time, or the excessive use of machines, and in both situations there will be a problems of the soil, of the productivity and profits. In any of these cases the parameters soil

¹ Pesquisadores da Embrapa Cerrados.

machinery, is primordial for the planning, use and appropriate selection of fled machinery. The objectives of this work, are to transfer results of researches, where they are included necessary power for operation of the different implements of soil tillage, in different operational conditions, as water conditions of the soil, adjustments, work speeds, as well as the effects of these operations in the soil, for an appropriate planning and use of fled machinery.

Key words: agricultural mechanization, soil/machinery parameters, machinery management.

INTRODUÇÃO

A necessidade de incrementar a produção de alimentos, com menores custos e maior produtividade nas explorações agrícolas, tem levado, na última década, ao intenso desenvolvimento e a utilização de novas tecnologias menos agressivas ao meio ambiente. Na região do Cerrado, por suas características de solo e clima, o desenvolvimento, a adaptação e a recomendação dessas tecnologias tornam-se, ainda, mais exigentes. Dentro desse contexto, a exploração do solo com um enfoque conservacionista depende do uso adequado de máquinas agrícolas, com menor demanda de energia.

A utilização intensiva da mecanização agrícola, quando não planejada, pode levar a resultados indesejáveis, não atingindo seus objetivos. Aspectos de trafegabilidade no solo e sua compactação estão relacionados aos fatores de solo, sua umidade e parâmetros operacionais que afetam o desempenho dos implementos, bem como sua demanda de energia e efeitos. Neste sentido, são necessários dados para o planejamento de parques mecanizados. (Folle et al., 1990, Franz et al., 1994).

A crescente expansão do sistema de plantio direto e da agricultura de precisão, cada vez mais, exigem informações que subsidiem essas tecnologias. Para isto, parâmetros das operações, da relação máquina/solo e dados climáticos são de fundamental importância. No Brasil, em média, tem-se um número aceitável de má-

quinas por área trabalhada na maioria das regiões, mas isto não se reflete no uso e no planejamento adequados.

A necessidade de otimizar as operações mecanizadas, com menor dano aos solos e redução do consumo energético, orientaram o desenvolvimento deste trabalho cujo objetivo foi o de fornecer informações sobre o desempenho de máquinas agrícolas em suas diferentes condições de operações.

MECANIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Explorações mecanizadas e automação de processos de produção justificam-se, apenas, quando são obtidos resultados técnico-econômicos vantajosos. Qualquer decisão sobre uma operação e seleção da máquina a ser utilizada somente pode ser tomada em função desses parâmetros e não apenas considerando tradições regionais ou dados puramente econômicos. Na região do Cerrado, por existir propriedades com área maior que a média do País e, menor mão-de-obra, o uso da mecanização intensiva torna-se ainda mais necessário para o sucesso das explorações agrícolas. O clima e as condições de solo, característicos desse período seco e chuvoso, (Figura 1), resultam em pouco tempo disponíveis para o trabalho do solo em condições adequadas de umidade para as diferentes operações.

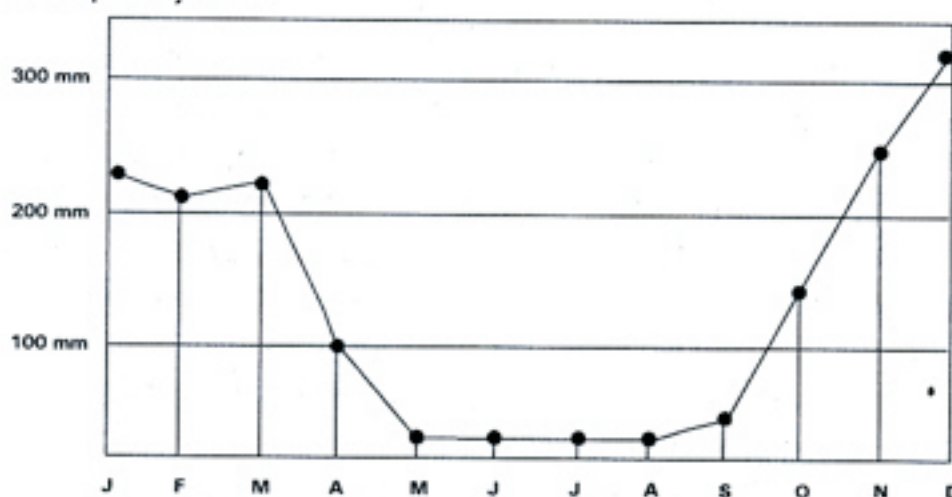


FIG. 1. Precipitação média ao longo do ano para a região do Cerrado

Fonte: Laboratório de Biofísica Ambiental - Embrapa Cerrados

Operações

O preparo do solo é qualquer forma de movimentação que ocorre durante o processo de produção das culturas (Spoor, 1975). As decisões sobre operações de aração, gradagem, subsolagem, plantio direto e seleção das máquinas dependem da situação em que se encontra o sistema de produção atual ou aquele a ser implantado.

Essas operações podem ser classificadas como preparo primário e secundário. O primário caracteriza-se pelas operações mais pesadas de movimentação do solo (aração, gradagem e subsolagem) e são as que mais consomem energia para o plantio das culturas anuais (Witney & Oskoui, 1982). O secundário é responsável pelo acabamento (gradagem niveladora) ou simplesmente plantio. O preparo do solo deve proporcionar condições adequadas para obter bom desempenho das semeadoras/adubadoras, mesmo que o cultivo seguinte seja em sistema de plantio direto. Para tanto, o solo deve estar nivelado, com boa condição de tráfego, tração e sustentação aos rodados do trator, bom desempenho dos abridores de sulco e compactadores da semeadora. Isto não significa que deva estar pulverizado e sem a presença de restos vegetais. Propostas conservacionistas recomendam a presença de cobertura vegetal e mínima mobilização do solo (Henklain, 1997).

As operações de movimentação e trafegabilidade (Figueiredo et al., 1998) exigem, cada uma, adequado conteúdo de água para seu sucesso (desde operações como aração, gradagem, tratos culturais e colheita) em que devem ser considerados os limites de consistência do solo, pois à medida que aumenta o conteúdo de água variam, também, os estados de seco e/ou duro a plástico e líquido (Figura 2). Na Tabela 1, são apresentados os diferentes objetivos, as condições adequadas do solo e respectivas operações e implementos necessários.

Na região do Cerrado, essas operações, principalmente por subdimensionamento de parques de máquinas, não vêm sendo executadas nas condições recomendadas (Franz et al., 1994; Folle

et al., 1994), esse fato ocorre tanto pela falta de parâmetros e não utilização de planejamento dos parques de máquinas, mas também por aspectos econômicos. No entanto, podem ser minimizadas com o uso do plantio direto que permite maior disponibilidade de tempo para as operações com máquinas nas condições recomendadas.

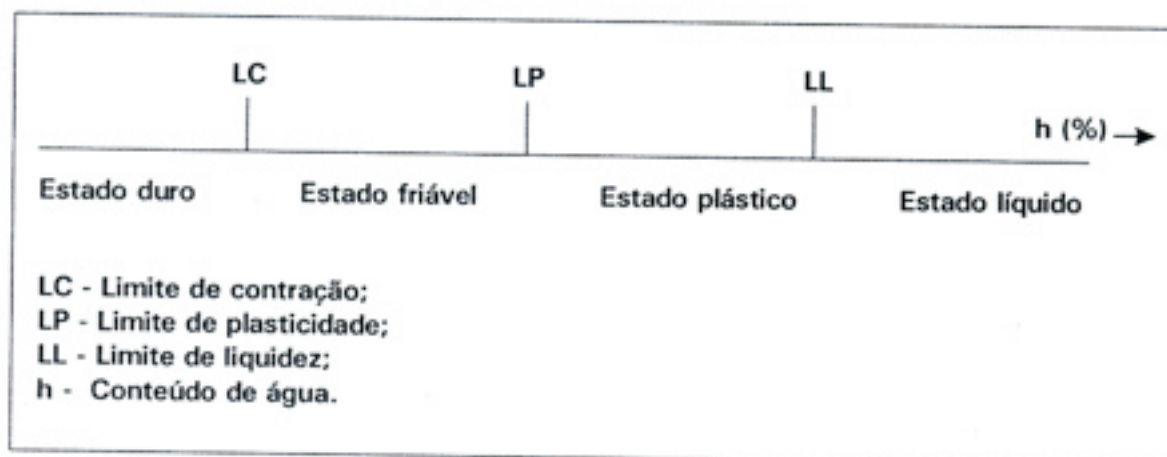


FIG. 2. Estados de consistência dos solos.

TABELA 1. Operações básicas de preparo do solo e implementos recomendados.

Operações básicas	Objetivo	Valores relativos da resistência ao cisalhamento do solo		Consistência do solo	Direção da resultante do implemento sobre o Solo	Implemento a ser utilizado
		Do Solo	Do Torrão			
Compactação	Eliminar vazios da massa do solo	Alta	Baixa	Friável	Para baixo e para os lados	Grade de dentes vibratórios ou não
Desintegração	Reduzir tamanho do torrão	Alta	Baixa	Friável	Para baixo	Rolo ou enxada rotativa
Corte	Reduzir tamanho do torrão	Baixa	Alta	Plástico	Para baixo	Grade de discos ou dentes
Inversão	Enterrar materiais e inverter o solo	Baixa	Alta	Friável ou plástico		Arado de discos ou aivecas
Mistura	Misturar aditivos ao solo	Baixa	Alta ou baixa	Friável		Enxada rotativa ou grade de dentes

Fonte: adaptado de Spoor, 1975.

Planejamento

O planejamento das operações mecanizadas depende do clima, área a ser trabalhada e exigências da cultura, como a época em que devem ser realizadas as operações. Para atender a essa necessidade, normalmente elabora-se um cronograma de operações como o demonstrado na Tabela 2. Conforme o ciclo da cultura, devem ser incluídos os tratos culturais e a colheita. O tempo disponível para as operações segundo Folle et al. (1994; 1990), pode ser calculado em dias disponíveis para o trabalho e transformado em horas no período, obtendo-se a capacidade operacional necessária em ha/h ou hs/dia a serem trabalhados (Tabela 3).

TABELA 2. Exemplo de um cronograma de operações.

Operações	Meses		
	setembro	outubro	novembro
Distribuição de calcário	-----		
Distribuição de adubo	-----		
Aração		-----	
Gradagem niveladora			-----
Semeadura			-----
Plantio direto			-----

TABELA 3. Capacidade operacional de máquinas necessárias (ha/dia), considerando a variação de dias potenciais para trabalhos com máquinas na região do Cerrado, para áreas variando de 100 a 1000 ha.

Dias *	Tamanho da área em ha									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
10-13	7-10	15-20	23-30	30-40	38-50	46-60	53-70	61-80	69-90	76-100
13-16	6-7	12-15	18-23	25-30	31-38	37-46	43-53	50-61	56-69	62-76
16-19	5-6	10-12	16-18	21-25	26-31	31-37	36-43	42-50	47-50	52-62
19-22	4-5	9-10	13-16	18-21	22-26	27-31	31-36	36-42	40-47	45-52
22-25	4	8-9	12-13	16-18	20-22	24-27	28-31	32-36	36-40	40-45
25-28	3-4	7-8	10-12	14-16	17-20	21-24	25-28	28-32	32-36	35-45
28-31	3	6-7	9-10	12-14	16-17	19-21	22-25	25-28	29-32	32-35

* Dias = Dias potenciais disponíveis para o trabalho com máquinas.

Fonte: Folle et al., 1994

A capacidade necessária ou teórica calculada reflete a taxa de desempenho caso a máquina trabalhasse 100% do tempo, à velocidade ideal de operação, utilizando 100% de sua largura, devendo ser corrigida por uma eficiência. A eficiência de campo é uma relação entre o tempo no campo e o tempo efetivo de trabalho e permite a transformação em uma capacidade efetiva que é a taxa de desempenho obtida no campo num dado tempo, em relação ao período total em que a máquina esteve trabalhando. As operações de preparo do solo são as que apresentam maiores velocidades de trabalho, sendo a eficiência normalmente alta (70% a 90%). Para as operações que exigem recarga de material como semeadura, pulverização e colheita, a eficiência é menor (50% a 80%).

Com base nesses dados, podem ser obtidas a largura de trabalho para determinada máquina e sua operação, usando a equação:

$$C = \frac{V \times L \times e}{10}$$

onde:

C = capacidade necessária em ha/hora;

V = velocidade de operação recomendável em km/hora;

L = largura nominal em metros a ser encontrada;

10 = constante de transformação de unidades, e

e = eficiência de campo expressa em decimal.

PARÂMETROS ENERGÉTICOS E EFEITOS NO SOLO

Relação máquina/solo

A relação máquina/solo irá determinar a potência necessária para cada operação, bem como os efeitos causados no solo, na produtividade e a lucratividade das culturas.

Tais métodos são citados por Bowers (1978) e Folle & Franz (1990). Devem ser determinadas ou disponíveis: a potência

exigida pelos implementos, a potência usável e necessária na barra de tração dos tratores, a resistência do solo para cada operação e suas condições e efeitos. Como exemplo, a equação abaixo, permite determinar a potência requerida para tracionar determinado implemento, em função da força demandada por unidade de largura e velocidade em que será operado.

$$P = \frac{F \times L \times V}{3,6}$$

onde:

P = potência demandada pelo implemento em kw;

F = força de tração exigida pelo implemento em kN/m;

L = largura nominal do implemento em metros;

V = velocidade de operação em km/h

3,6 = constante de transformação de unidades;

sendo 1 hp = 0,746 kw.

Com a intensificação das áreas irrigadas, a utilização de máquinas agrícolas e o uso de insumos também sofreram acréscimos consideráveis. Desses fatos, detectou-se a necessidade de pesquisar mais dados sobre a relação máquina/solo. Na Tabela 5, são apresentados os resultados de parâmetros operacionais para arados de discos lisos e, na Tabela 6, para arados de discos recortados em função da umidade do solo.

TABELA 5. Parâmetros operacionais para um arado de discos lisos.

Conteúdo de água (%)	Implemento larg. Profund. (m)	Área da seção (m ²)	Força de tração (kN)	Força de tração específica (kN/m ²)	Capacidade de trabalho (ha/h) ¹
11,75	0,93	0,21	14,84	70,67 (100%)	0,58
	0,23				
26,63	0,99	0,24	14,45	60,21 (85%)	0,62
	0,24				

¹ Para uma eficiência de campo de 100%.

Fonte: Folle et al., 1990.

TABELA 6. Parâmetros operacionais para um arado de discos recortados.

Conteúdo de água (%)	Implemento larg. Profund. (m)	Área da seção (m ²)	Força de tração (kN)	Força de tração específica (kN/m ²)	Capacidade de trabalho (ha/h) ¹
11,75	0,87	0,15	10,89	72,60 (100%)	0,54
	0,17				
26,63	0,96	0,19	12,61	66,27 (91%)	0,60
	0,20				

¹ Para uma eficiência de campo de 100%.

Fonte: Folle et al., 1990.

A variação da umidade do solo também afeta sua resistência à penetração que é um dos parâmetros utilizados para avaliar a compactação do solo. Os resultados têm demonstrado que para um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, no estado duro, no estado plástico ou no líquido, acréscimos de densidade não influenciaram os acréscimos na resistência à penetração (Franz et al., 1997; Klein et al., 1998; Pacheco; 1994). Por isso, os autores recomendam que a avaliação da compactação do solo via resistência à penetração, com a utilização de penetrômetros, seja realizada somente com o conhecimento dos estados de consistência e uma calibração prévia dos equipamentos.

Para verificar o efeito na destruição de camadas compactadas do solo, por diferentes implementos de preparo, Ogawa et al. (1997) estudaram em um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, os seguintes implementos de preparo como tratamentos: grade aradora, arado de discos, arado de aivecas e subsolador, este último em duas condições de umidade do solo. Os resultados mostraram que após os tratamentos, os efeitos da destruição da camada compactada foram maiores com o arado de aivecas e subsolador. Também observaram que a descompactação pelo subsolador foi maior 10% em solo seco do que em condições mais elevadas de umidade. Também Lanças et al., 1993 encontraram resultados operacionais melhores, na operação de subsolagem, em menores teores de água no solo, no entanto, com maior consumo de combustível e maior esforço de tração.

A aração é, sem dúvida, uma das operações mais importantes no processo produtivo, sendo uma das que mais demandam tempo e energia para sua realização. Diversos são os fatores que afetam a qualidade da aração e o desempenho de um arado, além da umidade do solo, tais como: as condições de operação, como ângulos horizontais e verticais de trabalho, acoplamento ao trator, velocidade de trabalho e outros. Salientando que tais fatores, afetam, também, semeadoras de plantio direto.

Altas velocidades de trabalho podem aumentar a capacidade operacional de implementos de preparo e plantio, no entanto, aumentam a potência exigida por eles, podendo acarretar acréscimos de custos. Zoz (1974) cita que, aliando-se fatores como: consumo de combustível, custos de mão-de-obra, horas de uso anual do trator, área trabalhada por ano, força requerida e tipo de solo podem-se encontrar velocidades técnica e economicamente mais recomendadas.

Franz & Folle (1996) avaliaram os parâmetros força e potência específicas e exigidas, bem como a capacidade de trabalho do arado, em função das variações de velocidade. Os resultados obtidos demonstraram que a velocidade afetou os parâmetros estudados, causando acréscimos de até 27, 215% e 193%, respectivamente, na força específica, potência específica e capacidade de trabalho, ao variar a velocidade de 3,0 para 8,2 km/h (Tabela 7).

TABELA 7. Parâmetros operacionais para um arado de discos 3 x 26", operando em diferentes velocidades de deslocamento, em um LE argiloso, com 22,1% de umidade.

Velocidade de trabalho	Capacidade de trabalho	Força de tração específica	Potência específica
(km/h)	(ha/h)	(kN/m ²)	(kW/m ²)
3,3	0,31 (100) ¹	49,7 (100)	44,9 (100)
3,8	0,40 (129)	54,4 (111)	57,4 (128)
4,9	0,52 (167)	55,0 (112)	74,9 (167)
6,2	0,68 (219)	58,5 (119)	100,7 (224)
7,1	0,79 (255)	60,0 (122)	118,3 (263)
8,2	0,91 (293)	63,2 (127)	142,0 (315)

¹ Valores percentuais relativos.

Fonte: Franz & Folle, 1996.

Nas Figuras 3, 4 e 5, são apresentados os dados ajustados dos resultados encontrados, onde podem ser observados os modelos para o cálculo do efeito da velocidade para cada parâmetro nas condições do estudo.

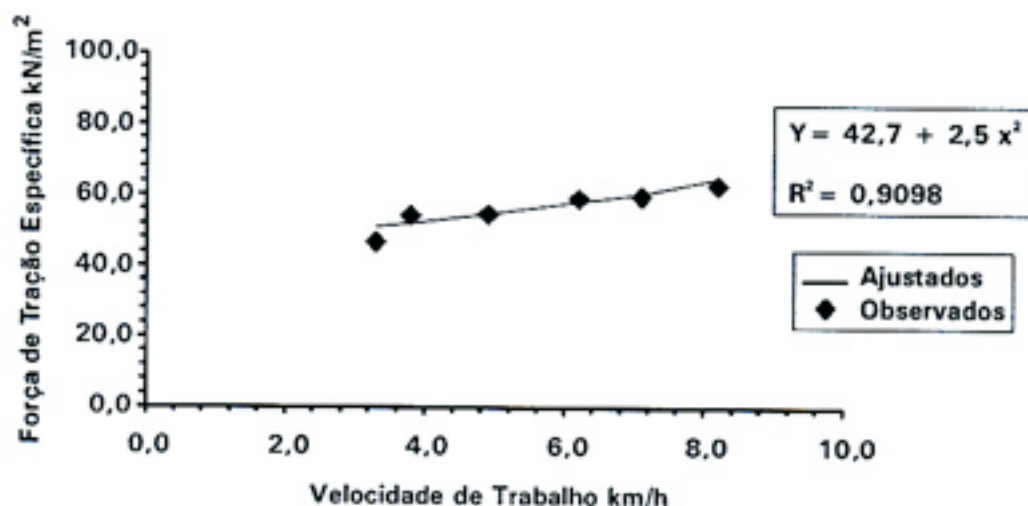


FIG. 3. Efeito da velocidade na força de tração específica exigida pelo arado de discos.

Fonte: Franz & Folle, 1996.

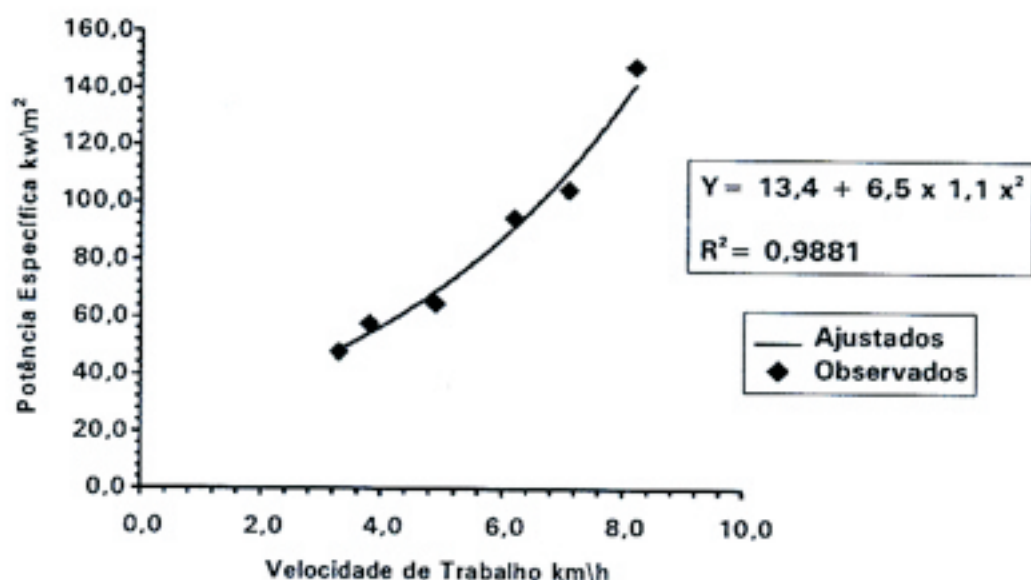


FIG. 4. Efeito da velocidade na potência específica exigida pelo arado de discos.

Fonte: Franz & Folle, 1996.

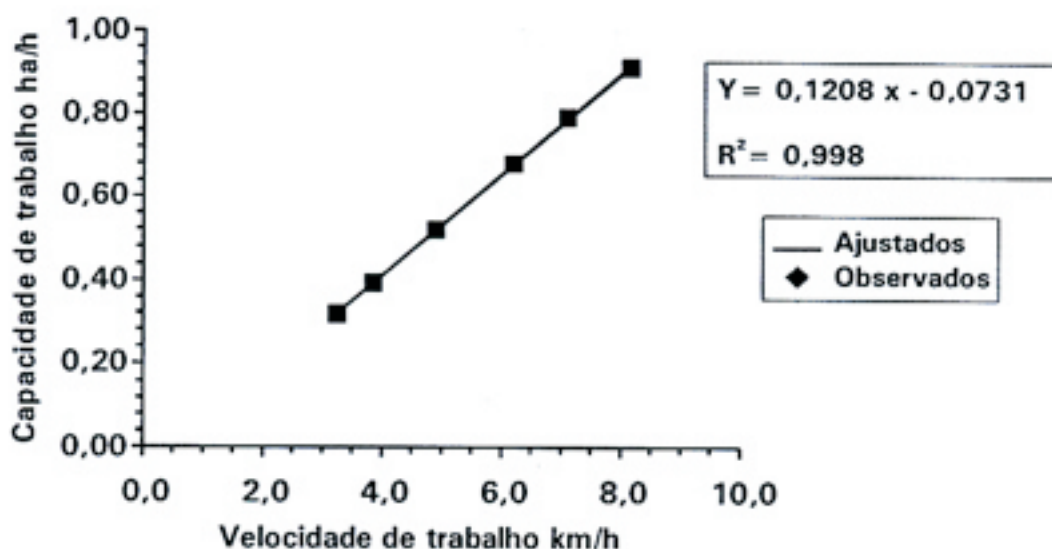


FIG. 5. Efeito da velocidade na capacidade de trabalho do arado de discos.

Fonte: Franz & Folle, 1996.

Outro parâmetro importante para a obtenção de uma boa operação é a regulação adequada do implemento antes de iniciá-la. Como por exemplo: o ângulo horizontal de um arado de discos afeta seu desempenho como apresentado na Tabela 8. O arado apresentou melhor desempenho com o ângulo de 45°, no entanto, recomenda-se, sempre uma análise econômica.

TABELA 8. Efeito do ângulo horizontal no desempenho de um arado de discos 3 x 28", trabalhando a velocidade de 5,94 km/h em um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso com 24,5% de umidade.

Ângulo em graus	Força de tração kN	Profundidade m	Largura m	Potência kW	Cap. operacional ha/h
40	15,90	0,21	0,99	26,17	0,59
45	20,07	0,24	1,14	33,11	0,68
54	22,83	0,22	1,15	37,67	0,68

Fonte: Folle et al., 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWERS, W. Matching equipment to big tractors for efficient field operations. St. Joseph, ASAE , 1978. 7p. (ASAE. Technical paper, 78-1031).
- FIGUEIREDO, L. H. A. ; DIAS JUNIOR, M. de S.; SANTOS, G. A. & BUENO FILHO, J. S. de S. Efeitos dos manejos do solo na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação, usando o ensaio de proctor normal, em um Latossolo roxo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Anais. Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.103 - 105.
- FOLLE, S. M. & FRANZ, C. A. B. Trator agrícola, característica e fundamentos para sua seleção Série Documentos nº 31. EMBRAPA/CPAC. Brasília, 1990. 24p.
- FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; ASSAD, E. D. Dias prováveis de trabalho para dimensionamento de parques de máquinas na região dos Cerrados. In: CHUVA NOS CERRADOS. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1994, p.296-307.
- FOLLE, S.M.; QUEIROGA, R.B. & FRANZ, C.A.B Influência do teor de água no solo, na demanda de tração específica de implementos de preparo de solo. I - Arados de discos lisos e recortados. Pesquisa em Andamento nº 34, abril/90, 3p.
- FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; ROCHA F. E. de CASTRO. Efeito da variação do ângulo horizontal no desempenho de arado de discos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Anais. Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.229-231.
- FRANZ, C. A. B. & FOLLE, S. M. Avaliação do desempenho de um arado de discos em função da velocidade de trabalho. In: VIII Simpósio Sobre o Cerrado e 1st International Symposium on Tropical Savanas. EMBRAPA/CPAC. Brasília, 1996. p 379 - 383.

- FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M. Diagnóstico da situação da mecanização agrícola na região do Distrito Federal e entorno. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Relatório Técnico Anual, 1987-1990. Planaltina, DF. (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados) 1994. p.197-199.
- FRANZ, C.A. B.; PACHECO, L. A.; FOLLE, S.M.; ROCHA, F.E.C. Correlações entre resistência a penetração, umidade e densidade global em um latossolo de Cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). Relatório Técnico Anual do CPAC, 1991 - 1995. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 142 -143.
- FRANZ, C.A.B.; FOLLE, S.M.; INOUE, K.; ROCHA, F.E.C. Avaliação do desempenho de um subsolador vibratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Anais. Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.226-228.
- HENKLAIN, J.C. Efeito do preparo sobre as características do solo. In: PEIXOTO, R.T.dos G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J., ED. Plantio direto: o caminho para a agricultura sustentável. 1997. Ponta Grossa: IAPAR/PRP-PG, 1997. p.206-221.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo a penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. Engenharia Agrícola, 1998, Volume 18, no. 2, p. 45-54
- LANÇAS, K. P.; SANTOS, A. G.; SANTOS, J. E. G.; PADILHA, A. Avaliação do consumo energético na operação de subsolagem, Parte II - Efeito da variação do teor de água no solo. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Anais. Ilheus, 1993. p.1919-1934.
- OGAWA, K.; FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M.; ROCHA, F. E. C. Observações no efeito da destruição mecânica das camadas compactadas do solo: mudanças físico-químicas. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande, PB. Anais. Campina Grande: SBEA, 1997. CD.

- OGAWA, K.; FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M.; ROCHA, F. E. C. Soil phisico-chemical observation on effect of compacted layer destruction of soil by machines. Brasília: JICA (Planaltina): EMBRAPA-CPAC, 1997. 81p. Partial report of EMBRAPA-CPAC/JICA project: sustainable agriculture development and natural resources conservations in Cerrados.
- PACHECO, L. G. A. Correlações entre resistência a penetração, umidade e densidade global em um Latossolo de Cerrados. Brasília, 1994. 43p. Dissertação de Graduação - Universidade de Brasília.
- SPOOR, G. Fundamental aspects of cultivations. In: LONDRES. Ministry of Agriculture, fisheries and food. Soil physical conditions and crop production. London, 1975. p.128-144 (Technical bulletin, 29).
- WITNEY, B.D.; OSKOUI, K.E. The basis of tractor power selection on arable farms. Journal of agriculture engineering research. v.27, p.513-527, 1982.
- ZOZ, F. M. Factors affeting the width and speed for least cost tillage. The Agricultural Engineer. v. 29, n.3, p.75-78, 1974.