

ADEQUAÇÃO DE LASTRO PARA O TRATOR AGRALE DEUTZ BX 4.150¹

ILA MARIA CORRÊA, JOSÉ VALDEMAR G. MAZIERO, ODI BERTELLA², MARCOS MORELLO³ e KIYOSHI YANAI²

RESUMO - O peso total e a distribuição de peso por eixo em tratores com tração dianteira auxiliar são fatores preponderantes na otimização do seu desempenho na barra de tração. Neste trabalho objetivou-se selecionar uma condição de lastro que favorecesse o desempenho do trator, com alguma redução de peso em relação ao lastro máximo limitado a 82 kg/kW no motor. Foram estudadas quatro condições de peso total (73,7; 74,9, 75,7 e 79,5, kN) em pista de concreto, sendo as duas últimas estudadas também em campo. Comparando-se analiticamente os valores de coeficiente de tração em conjunto com os demais parâmetros obtidos em campo e em concreto, concluiu-se que o trator Agrale Deutz BX 4.150 pode ser utilizado com peso total entre 73,7 a 75,7 kN o que representa redução de até 5,9 kN em relação ao máximo lastro permitido com uma distribuição percentual de peso entre 38,0% a 42,7% (média de 39,9%) do peso total, no eixo dianteiro. Nessa condição, o desempenho de tração foi considerado satisfatório em relação ao lastro máximo.

Termos para indexação: trator agrícola, tração dianteira auxiliar.

BALLAST OPTIMIZING TO AGRICULTURAL TRACTOR AGRALE -DEUTZ BX 4.150

ABSTRACT - The total weight and the axle load of front-wheel drive tractors are important in the optimizing of their drawbar performance. In this paper, the objective was to select a load condition that improve the tractive performance of tractors, with a decreasing of ballast when compared to maximum ballast limited to 82 kg/kW for the engine. The analytical comparison between tractive coefficient values associated with the other parameters obtained on concrete and field surfaces allows us to conclude that the Agrale Deutz BX 4.150 may be used with total weight in the range of 73.7 to 75.7 kN, which represents a reduction of 5.9 kN when compared to the maximum permissible ballast with an axle load distribution between 38.0% to 42.7% (average 39.9%) of the total weight on the front axle. Under this condition, the tractive performance was considered satisfactory when compared to maximum ballast.

Index terms: agricultural tractor, front-wheel drive.

INTRODUÇÃO

O peso total e a distribuição de peso por eixo, em tratores com tração dianteira auxiliar, são fatores preponderantes na otimização do seu desempenho na barra de tração. Definir a quantidade de lastro para um trator agrícola é, porém, uma questão relativamente difícil, dado que dele se deseja versatilidade de uso em diversas operações agrícolas

e em diferentes situações de solo. Em geral, opta-se por uma condição em prejuízo de outra, ou considera-se uma condição média onde é preciso administrar o excesso ou a falta, a cada situação.

Se, por um lado, a falta de peso, em operações de alta exigência de tração, ocasiona altos índices de patinação, com influência no desgaste prematuro dos pneus e na perda de eficiência do trator, o excesso de peso, como citam Clark & Vande Linde (1993), é conhecido como o maior responsável pela compactação do solo e pela formação de camadas duras. Entretanto, por ser uma operação que exige tempo e maior esforço físico do operador, este normalmente não costuma remover ou adicionar lastros metálicos para atender à necessidade da operação agrícola.

¹ Aceito para publicação em 17 de março de 1997.

² Eng. Agr., M.Sc., Divisão de Engenharia Agrícola/IAC/SAA, Caixa Postal 26, CEP 13201-970 Jundiá, SP.

³ Eng. Agr., AGRALE SA, Caixa Postal 1311, CEP 95001-970 Caxias do Sul, RS.

Para Delgado (1990), do ponto de vista de economia de metal e da redução de resistência ao rolamento, o ideal é que o trator pese o menos possível, desde que isso não influa na sua concepção, segurança e durabilidade.

Kotzabassis et al. (1987) citam estudo realizado por Babacz et al. (1986) para determinar a distribuição de lastro que permitisse obter maior eficiência de tração em trator operando com a tração dianteira ligada e desligada. Os autores concluíram que distribuição de lastro ótima para o trator operando com a tração dianteira ligada requeria de 36% a 40% do peso estático total sobre o eixo dianteiro.

Resultado semelhante havia sido encontrado por Bashford et al. (1985) ao ensaiarem em campo um trator com a tração dianteira ligada e desligada. Uma das conclusões dos autores foi a de que as melhores eficiências de tração correspondiam à distribuição de peso de 40% a 45% do peso estático sobre o eixo dianteiro.

No grupo de tratores com tração dianteira auxiliar, analisados por Yanai et al. (1988), é observado que a distribuição de peso na condição totalmente lastrado era de 40% de peso no eixo dianteiro, em média, sendo que o trator com maior ganho em força de tração, em pista de concreto, apresentava 36,8% do seu peso sobre o eixo dianteiro.

No estudo de Souza et al. (1991), um trator agrícola foi ensaiado em campo para identificar a melhor de cinco condições de lastro. A melhor condição de lastro encontrada foi a de 41% do peso no

eixo dianteiro, apresentando maior nível de potência na barra e coeficiente de tração não significativamente menor que o maior valor absoluto obtido.

O presente trabalho teve como objetivo selecionar uma condição de peso total e uma distribuição de peso por eixo que favorecesse o desempenho do trator Agrale Deutz BX 4.150, possibilitando alguma redução de peso em relação ao lastro máximo, limitado a 82 kg/kW no motor.

MATERIAL E MÉTODOS

O trator Agrale Deutz BX 4.150, objeto do presente estudo, apresentava na ocasião, as seguintes características: motor MWM/TD 229 EC 6VA, Diesel, potência máxima de 99,3 kW a 2300 r/min (NBR 5484), torque máximo de 49,1 da N.m a 1500 r/min (NBR 5484); rodado dianteiro Goodyear 14.9-28, 6 lonas, pressão de calibração, 24 kPa (18 lbf/pol²); rodado traseiro Firestone 23.1-30 R1 SAT 23, 8 lonas, pressão de calibração, 110 kPa (16 lbf/pol²); distância entre eixos, 2750 mm.

Os parâmetros de desempenho avaliados foram determinados em pista de concreto e em campo, localizados na Divisão de Engenharia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas.

Nas diversas condições de lastro utilizadas, o trator estava totalmente abastecido de combustível, com água nos pneus dianteiros e traseiros e peso do operador de 638 N (65 kgf), variando apenas a distribuição e/ou quantidade de lastros metálicos colocados na frente do trator (lastros de 392 N (40 kgf) cada) e no eixo traseiro (lastros de 608 N (62 kgf) cada).

As condições de lastro utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Condições de lastro e características ponderais do trator.

Condição de lastro	Quantidade de lastros metálicos		Características ponderais			Distribuição sobre os eixos diant./tras.
	Na frente	No eixo traseiro	Total	Dianteiro	Traseiro	
				-kN-		-%
P1-a	6	12	74,95	26,08	48,86	34,8/65,2
P1-b	9	10	74,95	27,57	47,38	36,8/63,2
P1-c	12	8	74,95	29,04	45,90	38,8/61,2
P1-d	15	6	74,95	30,53	44,43	40,7/59,3
P1-e	18	4	74,95	32,01	42,94	42,7/57,3
P2	12	6	73,65	29,09	44,57	39,5/60,5
P3	15	8	75,65	30,21	45,44	39,9/60,1
P4	15	14	79,52	30,24	49,28	38,0/62,0

Foram estudadas quatro condições de peso total (P1, P2, P3, P4). Devido ao parcelamento da condição de peso P1 em cinco distribuições de peso por eixo, obtiveram-se oito condições de lastro.

A pesagem do trator foi realizada com o uso de células de cargas e plataformas de suspensão.

As condições de peso total foram estudadas em três fases. Na primeira fase do trabalho, executada em pista de concreto com o uso do carro dinamométrico da Divisão de Engenharia Agrícola, buscou-se, para a condição de peso total P1, definir a melhor entre cinco distribuições de peso por eixo, com base nos parâmetros de desempenho na barra de tração, exceto os relativos ao consumo de combustível, que não foi medido. Nessa fase, o trator foi submetido a esforço na barra de tração que causasse cerca de 15% de patinagem nas rodas motrizes. Uma vez estabilizada essa carga, o trator era operado por trinta minutos, durante os quais se faziam cinco leituras dos dados necessários ao cálculo dos parâmetros de desempenho: patinagem das rodas motrizes, em porcentagem; força de tração em kgf; velocidade de deslocamento, em km/h; potência na barra, em cv; rotação do motor, em r/min, e coeficiente de tração.

Para isso, o trator foi instrumentado com sensores indutivos nas rodas de tração e no eixo da tomada de potência, e cronômetros.

No cálculo da patinagem, tanto em concreto como em campo, foi considerada como circunferência de rolamento sem carga a medida em pista de concreto, com o trator se deslocando a cerca 3,0 km/h sem exercer força de tração na barra.

Na segunda fase do trabalho, foram estudadas as três outras condições de peso total (P2, P3 e P4), com distribuição de peso por eixo próxima da melhor distribuição obtida na primeira fase. Um valor exato não era possível de ser alcançado, porque a distribuição de peso por eixo se fazia colocando-se ou removendo-se, da frente do trator, quantidade de lastros metálicos com peso correspondente ao retirado ou adicionado no eixo traseiro (dois lastros traseiros eram equivalentes a três lastros frontais).

Essa fase foi executada também em pista de concreto, determinando-se o desempenho do trator em três marchas (1M, 3M e 1A), pelo levantamento completo das curvas de desempenho na barra de tração. Para isso, o trator Agrale Deutz BX 4.150 foi submetido a níveis crescentes de esforço na barra de tração, por meio do carro dinamométrico, até ser atingida uma rotação do motor próxima à rotação de torque máximo, ou observar-se patinagem das rodas motrizes de cerca de 15%.

Os parâmetros medidos foram os mesmos da primeira fase, acrescidos do consumo de combustível em L/h e em g/cv.h. A alimentação de combustível era proveniente de

tanque no carro dinamométrico, sendo o consumo de combustível medido por meio de balão volumétrico acionado por eletroválvulas.

A terceira fase do trabalho consistiu em estudar o comportamento do trator em condições de campo, sobre superfície firme e vegetada, na condição de peso total P3, previamente considerada pelo fabricante como a mais viável, e P4, de máximo lastro. Nessa fase, foram levantadas, por meio do carro dinamométrico, as curvas completas de desempenho do trator, nas marchas 1M, 3M e 1A. Para isso, o trator foi submetido a esforços crescentes na barra de tração até ser atingida uma rotação do motor próxima à de torque máximo ou observar-se que os pneus cisalhavam o solo arrancando sua camada superficial, o que ocorria com cerca de 30% - 40% de patinagem.

O local onde foram realizadas as determinações apresentava superfície firme, com plantas daninhas diversas, roçadas um mês e meio antes dos ensaios.

O índice de cone, utilizado para caracterizar a resistência do solo à penetração, foi obtido por meio de penetrógrafo desenvolvido na Divisão de Engenharia Agrícola, o qual utiliza cone padrão com ângulo sólido de 30° e área da base de 129 mm², segundo American Society of Agricultural Engineers (1987). Para cada condição de peso total foram feitas 16 tomadas, cujas médias são apresentadas na Tabela 2.

A umidade do solo à profundidade de 0-150 mm era de 33,68% e 30,26% no início das condições P3 e P4, respectivamente. A composição granulométrica do solo era, em média, a seguinte: areia grossa, 28%; areia fina, 22%; silte, 35% e argila, 15%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, na Tabela 3, que a melhor condição de distribuição de peso foi P1-d, que apresentou maior coeficiente de tração, desenvolvendo maior

TABELA 2. Índice de cone no local de ensaio.

Profundidade	Índice de cone			
	Com lastro P3		Com lastro P4	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
mm	kPa			
50	1444	419	874	380
100	1403	431	913	396
150	1337	258	1057	383
200	1382	450	1070	364

força de tração nos níveis de rotação do motor e velocidade de deslocamento iguais às condições P1-c e P1-e, realizadas na marcha 1M. O fato de ter sido utilizada primeiramente a marcha 2B não compromete a análise, pois na situação de tração máxima em concreto a patinagem imposta às rodas motrizes foi condição comum, e esta independe da marcha utilizada.

Os valores de força de tração constantes nas Tabelas 4 a 7 foram estimados a partir dos dados levantados, por meio de equações de ajustes que relacionavam a força de tração como dependente da patinagem.

Analisando-se a Tabela 4, observa-se que nas marchas altas 3M (faixa de 5 km/h a 9 km/h) e 1A (faixa de 6 km/h a 10,5 km/h), onde se desenvolve maior potência, os parâmetros força de tração, rota-

ção do motor, patinagem, velocidade de deslocamento, potência na barra, consumo horário e consumo específico de combustível, foram praticamente semelhantes em todas as condições de peso total. O coeficiente de tração mostrou-se levemente superior na condição de peso P2, apresentando maior diferença (7,8% a mais) em relação a P4, em marcha 3M.

Os valores de máxima potência na barra obtidos nas condições P2, P3 e P4 foram 78,2, 78,9 e 78,7 kW, respectivamente, cujas diferenças, em termos práticos, podem ser consideradas desprezíveis.

A marcha 1M (Tabela 4), nesta análise, pode até ser ignorada, pois nesta marcha os valores de potência na barra não são os maiores possíveis de serem fornecidos pelo trator. Entretanto, ainda que se queira considerá-la, deve-se observar que a

TABELA 3. Resultados principais (valores médios) obtidos em pista de concreto, na primeira fase¹.

Condição de peso total	Força de tração	Patinagem	Rotação do motor	Velocidade de deslocamento	Potência na barra	Coeficiente de tração
	kN	%	r/min	km/h	kW	
P1-a	64,24	15,49	1657	3,44	61,41	0,857
P1-b	64,98	14,92	1646	3,46	61,98	0,867
P1-c	68,10	15,09	2323	3,79	71,74	0,909
P1-d	69,27	14,96	2321	3,79	72,98	0,924
P1-e	69,20	15,06	2321	3,80	71,88	0,909

¹ O desempenho das condições P1-a e P1-b foi determinado com a marcha 2B, enquanto que nos demais lastros foi com a marcha 1M.

TABELA 4. Resultados principais obtidos em pista de concreto, referentes à potência máxima de três marchas, na segunda fase.

Marcha	Condição de peso total	Força de tração	Rotação de motor	Patinagem	Veloc. de desloc.	Potência na barra	Consumo de combustível		Coefic. de tração
							Horário	Específico	
		kN	r/min	%	km/h	kW	L/h	g/kW.h	
1M	P2	67,84	2300	15,0	3,75	70,63	28,8	336	0,921
	P3	69,45	2320	13,9	3,83	73,87	29,2	326	0,918
	P4	69,16	2300	13,1	3,85	73,94	29,2	326	0,870
3M	P2	34,34	2290	5,0	8,20	78,18	29,0	302	0,466
	P3	34,43	2290	4,9	8,25	78,88	29,1	306	0,455
	P4	34,34	2290	4,9	8,25	78,65	29,2	306	0,432
1A	P2	29,43	2290	4,3	9,50	77,64	29,0	302	0,400
	P3	29,43	2310	4,2	9,55	78,04	29,2	306	0,389
	P4	29,92	2300	4,2	9,50	78,93	29,5	306	0,376

condição P4 (máximo lastro), exceto para o coeficiente de tração, foi a que apresentou maior vantagem nos demais parâmetros de desempenho.

Na Tabela 5, que destaca os máximos valores de força de tração obtidos em cada marcha, observa-se também grande semelhança dos parâmetros de desempenho nas marchas altas, 3M e 1A, exceto para o coeficiente de tração, no qual a condição P2 foi a mais vantajosa, apresentando diferença máxima de 10,1% a mais, em relação a P4.

Como a força de tração máxima está diretamente ligada ao peso do trator, o resultado vantajoso de P4 era esperado em termos de tração máxima;

entretanto, o desenvolvimento desse esforço de tração representou menor aproveitamento de peso do trator, a considerar-se que forneceu o menor coeficiente de tração, desenvolvendo, inclusive, menor velocidade de deslocamento.

Na marcha 1M, em pista de concreto, os coeficientes de tração máximos foram 0,921; 0,940 e 0,917, nas condições P2, P3 e P4, respectivamente.

Tendo em vista que o objetivo era a redução de peso total do trator, as condições P2 (73,2 kN) e P3 (75,7 kN), poderiam ser adotadas, pois mostraram-se vantajosas, particularmente P3 que desenvolveu maior coeficiente de tração, indicando que qualquer

TABELA 5. Resultados principais obtidos em pista de concreto, referentes à força de tração máxima de três marchas, na segunda fase.

Marcha	Condição de peso total	Força de tração	Rotação de motor	Patinação	Veloc. de desloc.	Potência na barra	Consumo de combustível		Coefic. de tração
							Horário	Específico	
		kN	r/min	%	km/h	Kw	L/h	g/kW.h	
1M	P2	67,84	2300	15,0	3,75	70,63	28,8	336	0,921
	P3	71,12	2320	15,0	3,70	73,07	29,1	333	0,940
	P4	72,94	2300	15,0	3,37	68,25	26,1	315	0,917
3M	P2	40,22	1400	5,9	5,15	57,52	18,4	268	0,546
	P3	40,71	1400	5,8	5,00	56,52	18,5	266	0,538
	P4	40,22	1400	5,9	5,10	56,96	18,4	266	0,505
1A	P2	35,32	1400	5,1	5,90	57,86	18,4	268	0,479
	P3	35,32	1400	5,0	5,90	56,74	18,3	265	0,467
	P4	34,63	1400	4,9	5,90	57,86	18,4	266	0,435

TABELA 6. Resultados principais obtidos em campo, referentes à potência máxima de três marchas, na terceira fase.

Marcha	Condição de peso total	Força de tração	Rotação de motor	Patinação	Veloc. de desloc.	Potência na barra	Consumo de combustível		Coefic. de tração
							Horário	Específico	
		kN	r/min	%	km/h	kW	L/h	g/kW.h	
1M	P3	43,16	2400	17,7	3,80	45,55	22,8	415	0,570
	P4	49,05	2370	20,1	3,60	49,04	25,0	415	0,617
3M	P3	30,90	2270	8,7	7,95	68,22	29,2	354	0,408
	P4	30,61	2290	8,7	8,00	67,99	29,5	360	0,385
1A	P3	28,94	2200	7,9	8,80	70,72	28,5	333	0,383
	P4	25,11	2300	6,8	9,25	64,50	29,0	374	0,316

uma delas resultaria em bom desempenho do trator. Como a condição P3 confirmava expectativa favorável do fabricante do trator, e havia limitação no tamanho da área disponível para os trabalhos, essa condição foi escolhida para ser comparada com a condição de lastro máximo (P4) em situação de campo (terceira fase do trabalho).

Nas Tabelas 6 e 7, são destacados os máximos valores de potência e força de tração na barra, respectivamente, obtidos no levantamento das curvas de desempenho. Os resultados das marchas 3M e 1A, obtidos com relação a P3, tanto numa situação como em outra, foram, de modo geral, semelhantes ou superiores a P4, em termos de força de tração, rotação do motor, velocidade de deslocamento, consumo específico e coeficiente de tração, a despeito de ter exercido patinação geralmente superior.

Na marcha mais baixa, os resultados de P4 foram melhores; entretanto, apesar de ter desenvolvido maior força de tração máxima (Tabela 7), o que se deve ao maior peso do trator, a lastragem P4 não é de toda vantajosa, pois seu desempenho nas marchas mais altas, com as quais se realiza a maioria das operações agrícolas, ficou, de modo geral, abaixo da condição P3.

Verifica-se que em marcha 3M os valores máximos de potência na barra desenvolvidos por P3 e P4, foram 68,2 e 68,0 kW, respectivamente. Na marcha 1M, os coeficientes máximos de tração foram 0,622 e 0,651, respectivamente, no tocante a P3 e P4.

Na Fig. 1, ilustra-se a relação entre o coeficiente de tração e a porcentagem de peso sobre o eixo dianteiro. A melhor porcentagem de peso sobre o

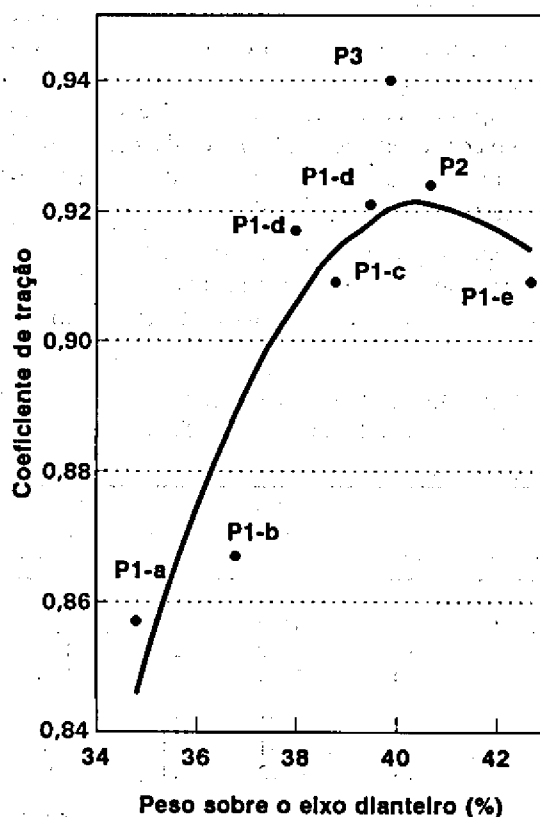


FIG 1. Coeficiente de tração em função da porcentagem de peso no eixo dianteiro, em pista de concreto.

TABELA 7. Resultados principais obtidos em campo, referentes à força de tração máxima de três marchas, na terceira fase.

Marcha	Condição de peso total	Força de tração	Rotação de motor	Patinagem	Veloc. de desloc.	Potência na barra	Consumo de combustível		Coefic. de tração
							Horário	Específico	
		kN	r/min	%	km/h	kW	L/h	g/kW.h	
1M	P3	47,09	2380	33,4	3,00	39,22	24,1	510	0,622
	P4	51,80	2350	30,0	3,15	45,31	25,8	333	0,651
3M	P3	38,26	1550	12,5	5,20	55,24	21,0	313	0,506
	P4	36,89	1400	11,4	4,80	49,16	19,0	322	0,463
1A	P3	33,45	1500	9,8	6,10	56,66	21,0	306	0,442
	P4	31,88	1400	9,2	5,70	50,44	18,7	306	0,401

eixo dianteiro ocorre entre 38,0% e 42,7% do peso total, podendo-se tomar como valor médio de pico, 39,9%, o que está dentro da faixa de resultados obtidos por Bashford et al. (1985), Babacz et al. (1986) (citado por Kotzabassis et al., 1987) e Yanai et al. (1988), e, muito próximo do encontrado por Souza et al. (1991).

CONCLUSÕES

1. A distribuição de peso por eixo mais favorável ao desempenho na barra de tração do trator Agrale Deutz BX 4.150 é a que dá 39,9%, em média, do peso total no eixo dianteiro.

2. O trator Agrale Deutz BX 4.150 pode ser utilizado com peso total entre 73,6 kN e 75,5 kN - redução de até 5,9 kN em relação ao lastro máximo - com desempenho satisfatório.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE Standards 1987. S 313.2 Soil cone penetrometer. St. Joseph, MI, 1987. p.486.

BASHFORD, L.L.; WOERMAN, G.R.; SHROPSHIRE, G.J. Front wheel assist tractor performance in two and four-wheel drive modes. *Transactions of the ASAE*, v.28, n.1, p.23-29, 1985.

CLARK, R.L.; VANDE LINDE, G. A rapid automatic tractor ballast system. *Transactions of the ASAE*, v.36, n.5, p.1261-1266, Sept/Oct. 1993.

DELGADO, L.M. Adaptación del tractor a la labor. Reducción de consumo de combustible. In: *LABOREO-Solotractor 90*. Madri: Laboreo SA, 1990. p.128-144.

KOTZABASSIS, C.; STOUT, B.A.; FELSENSTEIN, G. FWA tractor performance with radial and bias-ply tires. St. Joseph, MI: ASAE, 1987. 10p. (ASAE Paper 87-1627).

SOUZA, E.G.; PINHO, J.F.; MILANEZ, L.F. Ballast optimization of a front wheel assist tractor. St. Joseph, MI: ASAE, 1991. 9p. (ASAE Paper 91-1593).

YANAI, K.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; MENEZES, J.F. de; PECHE, A.T.M. Desempenho comparativo de tratores com e sem tração dianteira auxiliar em pista de concreto. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 17., 1988, Iperó, SP. Anais... [S.l.: s.n.], 1988. v.2, p.438-444.