

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS

LEB0332 – Mecânica e Máquinas Motoras



Leandro M. Gimenez

2019

1

Objetivo da aula

- Compreender a importância da avaliação do desempenho dos tratores agrícolas
- Identificar os parâmetros mais relevantes no desempenho
- Apresentar métodos empregados
- Capacitar para interpretação dos resultados de avaliações

2

Tratores

Máquinas projetadas para tracionar, transportar e acionar máquinas e implementos agrícolas

O quão bem realizam suas funções?

Métodos padronizados de avaliação

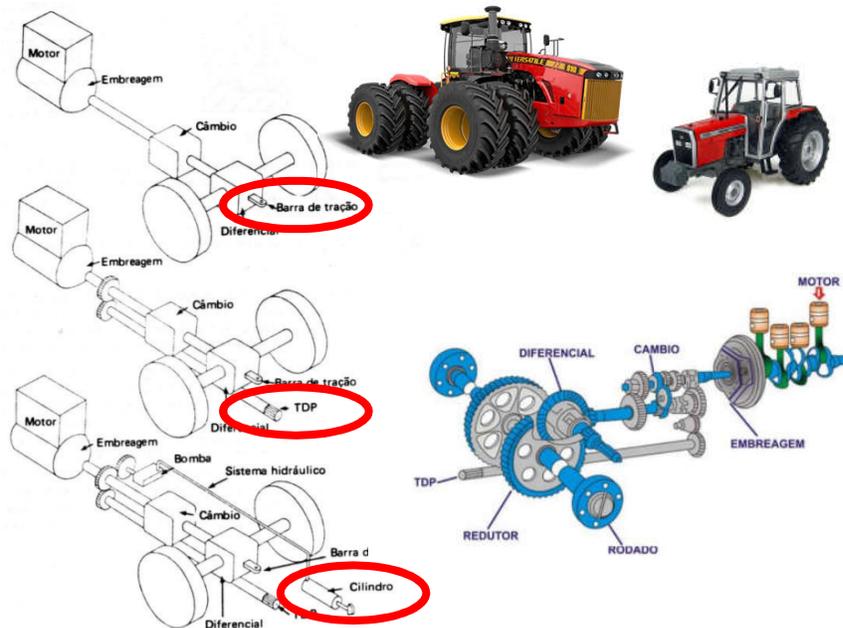
1920 – “Nebraska Tractor Law”

1953 – ISO

1955 - OCDE

3

3



4



ESPECIFICAÇÕES

Descrições	Máquina 110	Máquina 130
Motor		
Potência nominal do motor	110 cv	130 cv
Rotação nominal	2.200 rpm	2.200 rpm
Torque a 1.200 rpm	450 Nm	580 Nm
Relação de torque	0,26	0,30
Cilindros / Cilindrada	4 / 4,5 l	4 / 4,75 l
Válvulas	8	12
Alimentação	Turbo / Injeção	Turbo / Injeção
Injeção de combustível	Bomba injetora mecânica	Bomba injetora mecânica
Capacidade do tanque de combustível	70 l	80 l
Sistema elétrico		
Alternador	130 A	130 A
Bateria	90 DCA	90 DCA
Tratores HAKKLI® 10 e 130		
	12x12 Simples	12x12 Simples
	25x25	25x25
	540/1.000 rpm	540/1.000 rpm
	Engrenagem	Engrenagem
	2 Eixos dianteiros	2 Eixos dianteiros
	43 alvos	40 alvos
	43 alvos	43 alvos
	103 alvos	103 alvos
	Categoria II	Categoria II
	Controle mecânico de drift (MDC)	Controle mecânico de drift (MDC)
	3.410 kg	3.410 kg



5

Normas ensaio de motores...

- NBR ISO1585, potência líquida, 100%
- DIN 70020, potência líquida: 100%
- SAE J1995, potência bruta: 111%
- ISO TR14396, potência bruta: 107%
- SAE J1349, potência bruta: 104%
- ECE R24; 80/1269/CEE: , potência líquida, 100%
emissão de poluentes

6

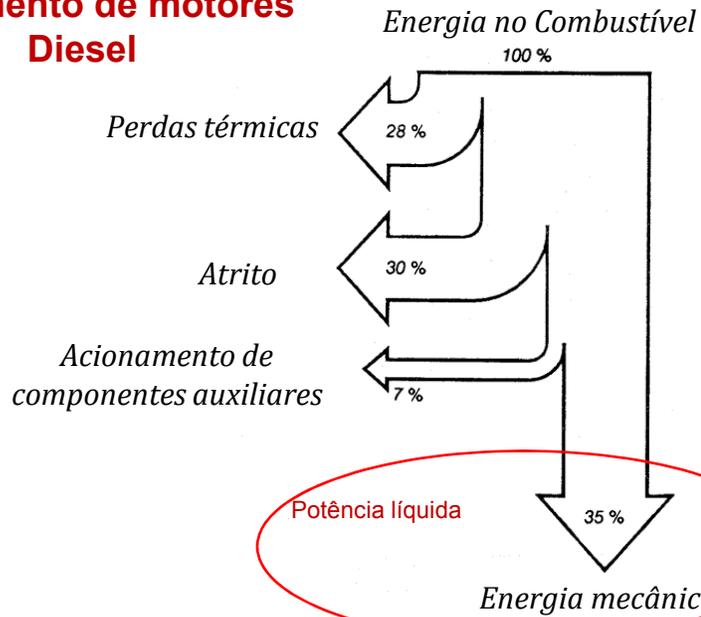
ESPECIFICAÇÕES MF 250 XE		
PERFORMANCE		
Potência do motor, na rotação nominal - cv (kW)	ISO TR14396 50 (37)	SAE J1995 52,5 (38,85)
Potência máxima na TDP - cv(kW)	41 (30,2)	43,05 (31,71)
Torque máximo no motor @ 1500 rpm - Nm (mkgf)	167 (17)	175,35 (17,85)
Rotação nominal do motor - rpm	2250	2250
MOTOR		
Modelo / Marca	TII S 325 / Simpson	
Número de cilindros	3	
Cilindrada - cm³	2500	
Aspiração	Natural	
SISTEMA ELÉTRICO		
Alternador - A		
Plataformado	55	
Tensão - V	12	
Bateria - Ah	70	
EMBREGAGEM		
Trator plataformado	Dupla	
Material do disco	Orgânico	
Diâmetro (transmissão / TDP) - mm	305 / 254	
TRANSMISSÃO		
Plataformado	8x2 Deslizante	
RODADOS		
Dianteiro	Traseiro	
4x2 6.00-16F2	14.9-24R1	
4x2 6.00-16F2	12.4-28R1	
4x4 8.3-24R1	14.9-24R2	
4x4 8.00-18R1	12.4-28R1	
4x4 8.00-18R1	14.9-24R1	
TOMADA DE POTÊNCIA		
Tipo	Dependente / Independente	
Rotação nominal da TDP (motor 1900 rpm) - rpm	540	

7

ESPECIFICAÇÕES MF 8690		
PERFORMANCE		
Potência máxima a 2.000 rpm - cv (kW)	ISO TR14396 370 (272)	SAE J1995 388 (285,3)
Potencia maxima da TDP - cv (kW)	333 (200)	349 (256,8)
Torque motor máx no motor @ 1.400 rpm - Nm (mkgf)	1540 (157)	1617 (165)
MOTOR		
Marca	AGCO POWER	
Número de cilindros	6	
Cilindradas (cm³)	8400	
Aspiração	Turbo aftercooler	
TRANSMISSÃO		
Tipo	Dyna-VT com Power Control: Transmissão variável contínua progressiva com gestão de trator dinâmica (DTM)	
Faixa de velocidades para campo	0,03 – 28 km/h a frente e de 0,03 km/h – 16 km/h a ré	
Faixa de velocidades para transporte	0-40 km/h a frente e de 0,03 km/h – 38 km/h a ré	
TOMADA DE FORÇA		
Funcionamento e controle	Independente, acionamento eletrohidráulico com controle de ativação/desativação, montado no suporte de braço e para-lamas traseiro com automatização de cabeceira	
REGIME DE TDP A RPM DO MOTOR		
Rotação nominal na TDP	540E / 1.000	

7

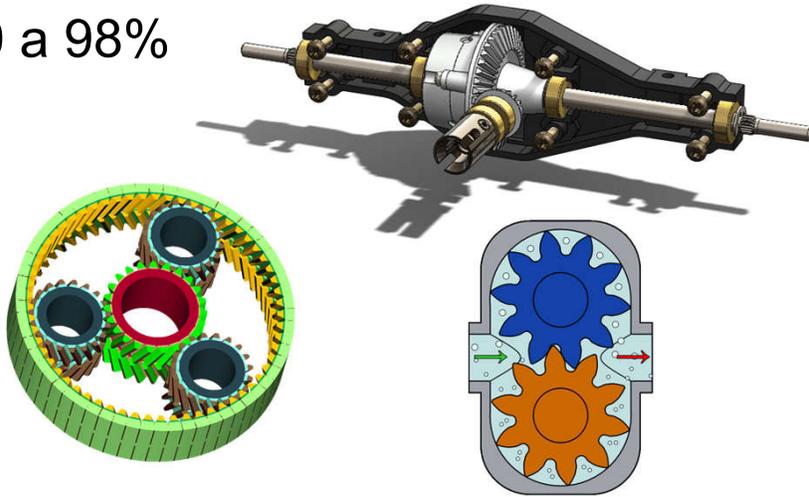
Rendimento de motores Diesel



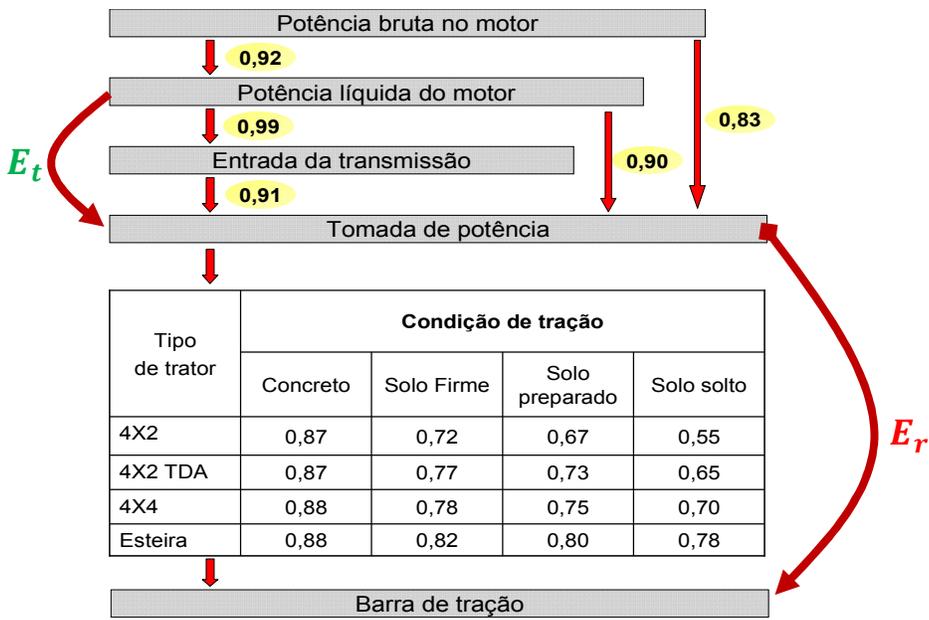
8

Rendimento em transmissões

80 a 98%



9



Fonte: ASABE

10

Relações de importância

$$T_m * N_m * E_t = T_r * N_r$$

$$E_t = \frac{P_r}{P_m}$$

$$P_b = E_r * P_r$$

$$E_r = \frac{P_b}{P_r}$$

$$P_b = P_m * E_t * E_r$$

T_m = Torque no motor

T_r = Torque no rodado

N_m = Rotação do motor

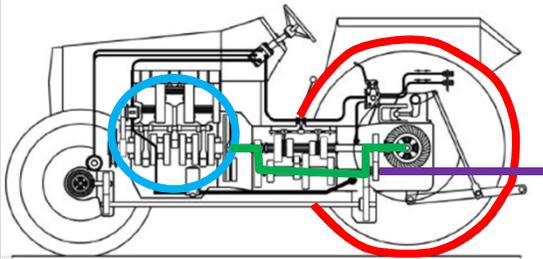
N_r = Rotação do rodado

E_t = Eficiência da transmissão

E_r = Eficiência de tração rodado

P_m = Potência no motor

P_r = Potência no rodado



11

Desempenho de tratores

1. Características dimensionais e ponderais
2. Motor: Ensaio de tomada-de-potência
3. Conjunto: Ensaio de pista
4. Sistema Hidráulico

12

Normas

Códigos OCDE

2) Desempenho de tratores

- 3) Resistência de estruturas de proteção – Teste dinâmico
- 4) Resistência de estruturas de proteção – Teste estático
- 5) Ruídos na posição do operador

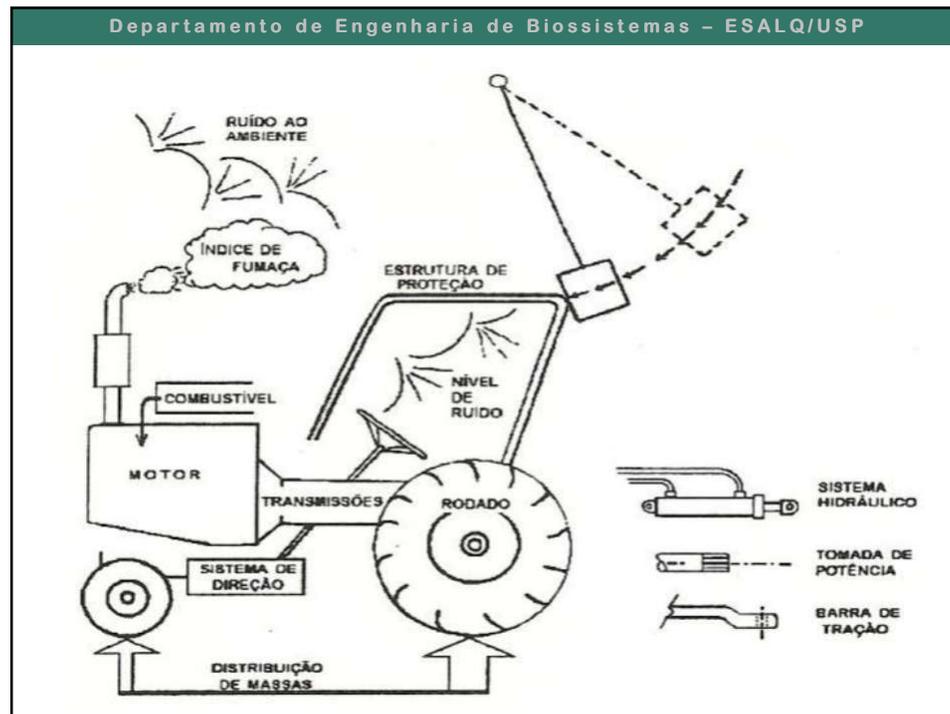
No Brasil

Code 2 = NBR 10400 – Tratores agrícolas – determinação das características técnicas e desempenho

Code 5 = NBR 9999 - Medição do nível de ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas – Procedimento

13

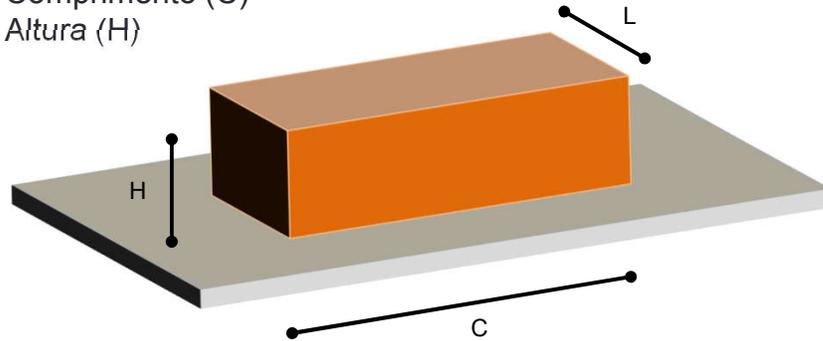
13



14

Características dimensionais

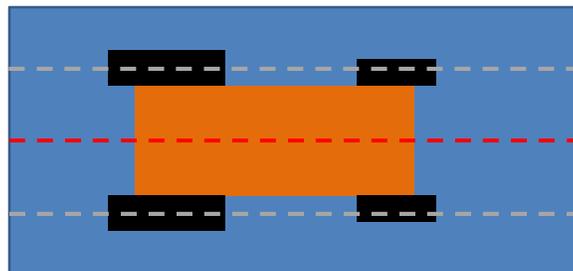
- Tamanho
 - Largura (L)
 - Comprimento (C)
 - Altura (H)



15

Características Dimensionais

Plano Médio Longitudinal: plano perpendicular ao plano de apoio, paralelo e equidistante dos planos médios das rodas traseiras, com o trator em posição tal que possa se deslocar em linha reta

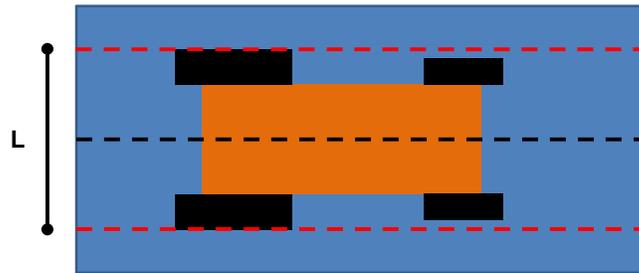


16

16

Características Dimensionais

L = distância entre dois planos paralelos a plano médio longitudinal e tangentes aos pontos mais extremos do trator, no caso de bitolas ajustáveis será aquele da menor

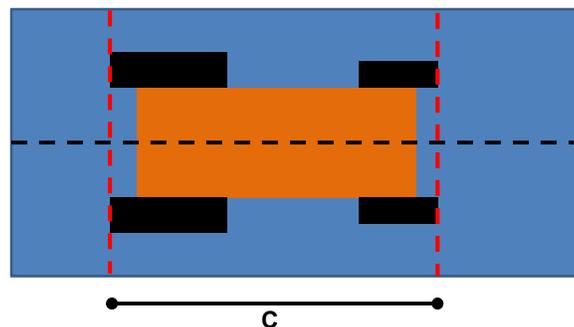


17

17

Características Dimensionais

C = distância entre dois planos perpendiculares ao plano de apoio e ao plano médio longitudinal e tangentes aos pontos mais extremos do trator; componentes removíveis do engate de 3 pontos, localizados na frente ou atrás, não são incluídos.

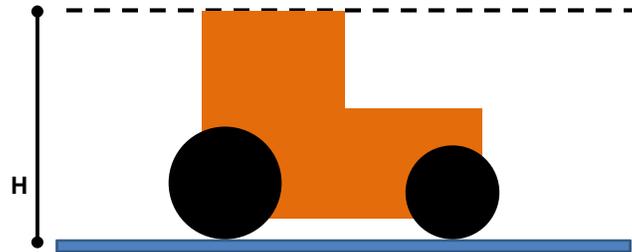


18

18

Características Dimensionais

H = distância entre o plano de apoio e o plano paralelo ao mesmo e tangente ao ponto mais elevado do trator.



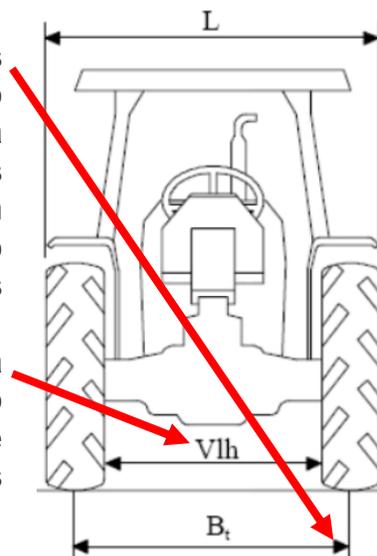
19

19

Configuração Geométrica

Bitola: distância entre os dois pontos gerados sobre o plano de apoio da máquina pela interseção deste com os planos médios das rodas de um mesmo eixo e o plano transversal das mesmas rodas

Vão livre horizontal: distância entre dois planos paralelos ao plano médio longitudinal e tangentes aos pontos mais internos dos rodados

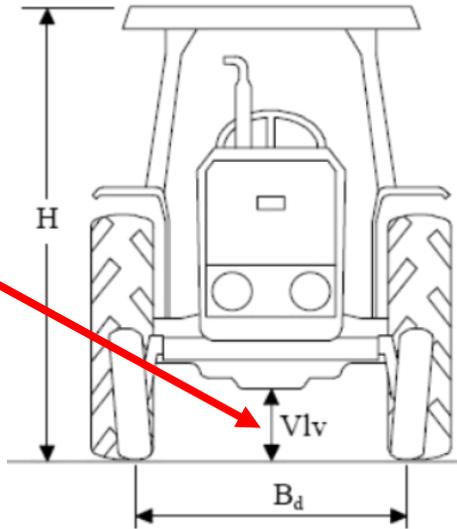


20

20

Configuração Geométrica

Vão livre vertical: distância entre o plano de apoio e o ponto mais baixo da parte central do trator



21

21

Configuração Geométrica

Raio de Giro: raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da roda mais externa do trator, com o plano de apoio, em nível, sobre o qual a máquina desloca-se em círculo com o volante de direção totalmente esterçado à direita ou à esquerda, com os freios direcionais aplicados ou não.

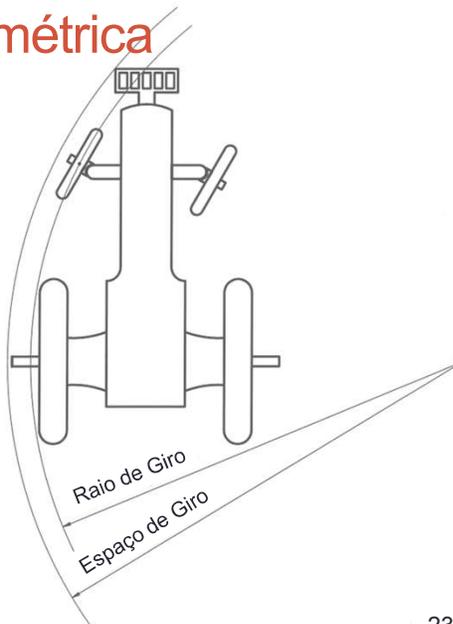


22

22

Configuração Geométrica

Espaço de Giro: espaço circular expresso através do raio de sua circunferência como raio do espaço de giro, delimitado pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada pelo ponto mais externo do trator com o plano de apoio em nível, sobre o qual o espécime desloca-se em condições idênticas às definidas para o espaço de giro

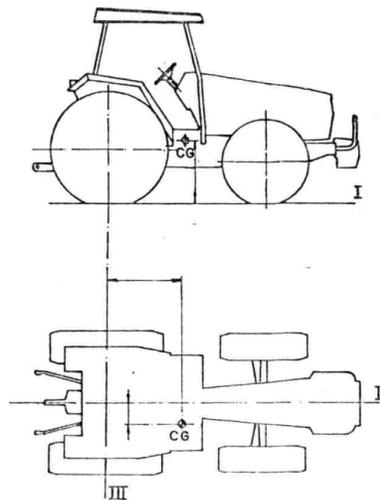


23

23

Características Ponderais

- Massa do trator
 - Com e sem lastro
- Massa dianteira
 - Com e sem lastro
- Massa traseira
 - Com e sem lastro
- Massa dos lastros
 - Dianteiros;
 - Nas rodas traseiras;
 - Nas rodas dianteiras
- Centro de gravidade



24

24

CODE 2 – Tractor Performance

Testes obrigatórios

- Potência fornecida pela TDP em sua rotação nominal e em mais cinco rotações que permitam calcular o consumo de combustível;
- Potência do sistema hidráulico e força de levantamento do engate de três pontos;
- Potência e consumo de combustível através do tracionamento pela barra de tração (sem lastro);

25

25

CODE 2 – Tractor Performance

Testes opcionais

- Potência fornecida pela TDP em mais pontos de rotação;
- Consumo de reagente nos testes de potência na TDP e barra de tração;
- Partida em baixas temperaturas;
- Pontos adicionais no ensaio da barra de tração;
- Teste de dez horas (tratores lastrados);
- Consumo de combustível sob esforços de tração distintos;
- Área e círculo de giro;
- Centro de gravidade;
- Frenagem;
- Ruído externo;
- Teste de resistência à entrada de água
- Nível de ruído no posto do operador;

26

26

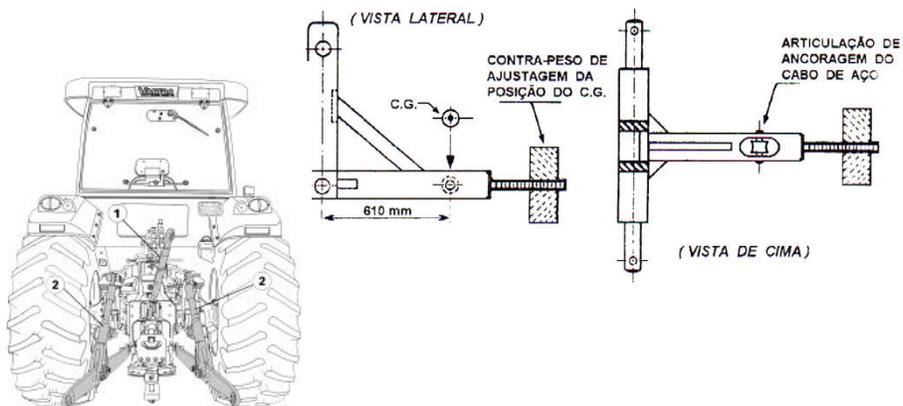
Potência do sistema hidráulico

- Temperatura do óleo hidráulico padronizada ($65 \pm 5^\circ\text{C}$), ou mensurada continuamente
 - Força máxima no olhal braços inferiores
 - Força máxima a uma distância de 610 mm
 - Capacidade do sistema de levantamento em sustentar carga levantada
 - Potência máxima disponível na tomada hidráulica externa

27

27

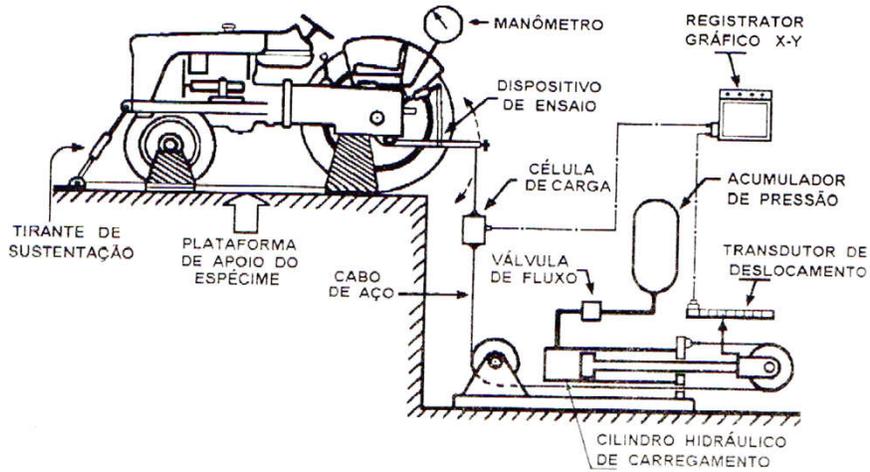
Sistema Hidráulico – Força de Levantamento



28

28

Sistema Hidráulico – Força de Levantamento



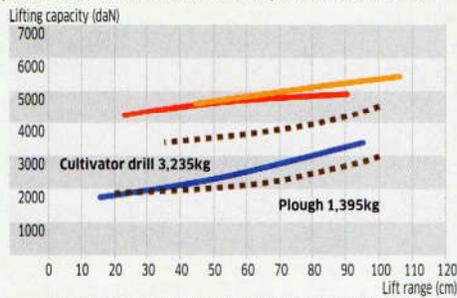
29

29

Sistema Hidráulico – Força de Levantamento

Lift power and lift requirement

Claas Arion 450: The red curve shows the recorded lift capacity (90% of maximum lift) as continuous lift power on the link ends. The yellow curve displays lift capacity with the lift arms shortened – more than 350daN extra lift capacity with a 6cm smaller lift range. Thanks to the rising power curve, the Arion is able to lift a 3.2t power harrow drill combi.

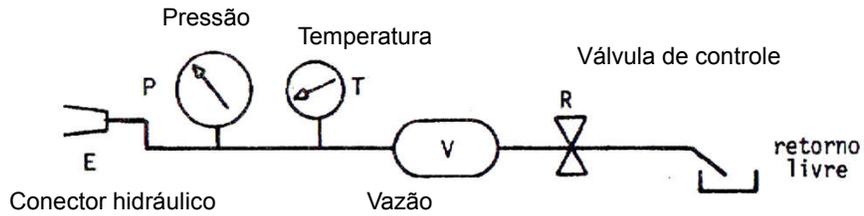


— Front linkage: continuous 1,719daN; 79.4cm lift height
 — Long rear lift arms: continuous 4,149daN; 67.2cm lift height
 — Short rear lift arms: continuous 4,509daN; 61.4cm lift height

30

30

Sistema Hidráulico – Potência Hidráulica



$$N(W) = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) * p (Pa)$$

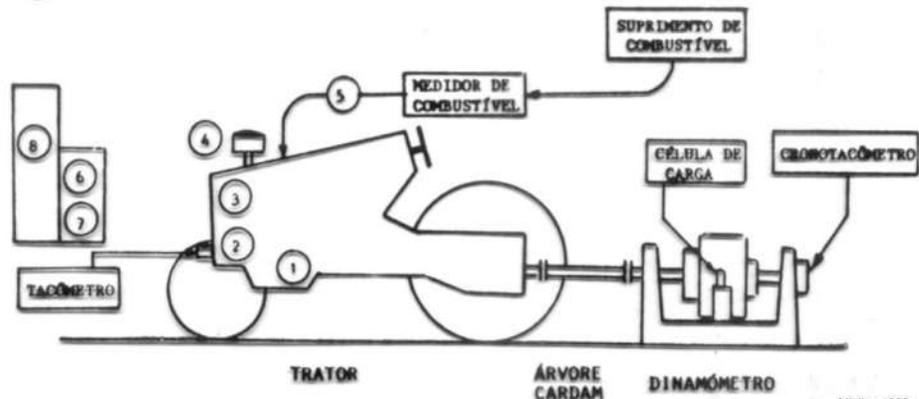
↑ Potência
 ↑ Vazão
 ↑ Pressão

31

31

Desempenho na TDP

- ① Temperatura do óleo do cárter
- ② ③ Temperaturas de entrada e saída da água de arrefecimento
- ④ Temperatura do ar de admissão
- ⑤ Temperatura do combustível
- ⑥ ⑦ Temperaturas dos termômetros de bulbos seco e úmido
- ⑧ Barômetro



Mialhe, 1982

32

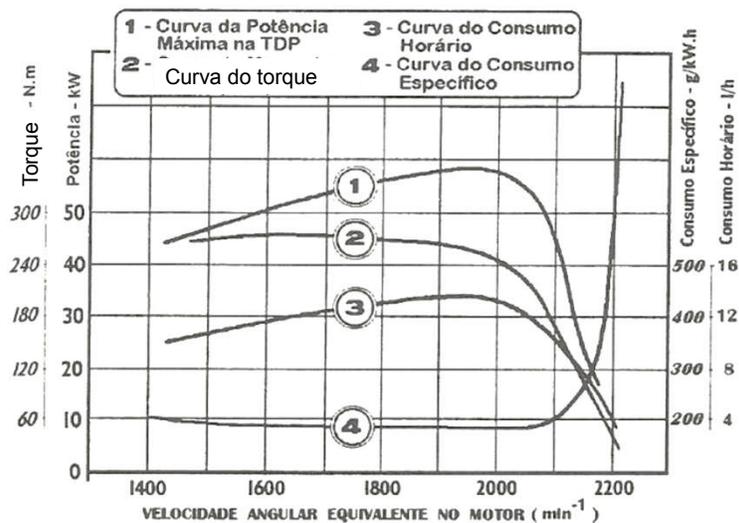
Desempenho na TDP e do motor

- Medidas
 - rotações, torque, consumo de combustível, temperaturas, pressão barométrica

- Resultados na forma gráfica:
 - Potência em função da rotação (velocidade tangencial)
 - Torque (equivalente) na árvore de transmissão do motor
 - Consumo horário e específico em função da rotação
 - Consumo específico em função da potência

33

Desempenho na TDP e do motor



34

Consumo de combustível

- **Horário (C_h):** em relação ao tempo, mensurado através dos instrumentos que compõem a bancada dinamométrica. Pode ser expresso em kg h^{-1} ou L h^{-1}
 - Cuidados com a mensuração volumétrica, pois a densidade é alterada com a temperatura – necessário tomar nota de ambas
- **Específico (C_e):** em relação ao trabalho mecânico desenvolvido, obtido pela relação entre o consumo horário e a potência desenvolvida. Expresso em g kWh^{-1} .

$$C_e = \frac{C_h * 1000}{H}$$

H = Potência, kW

35

35

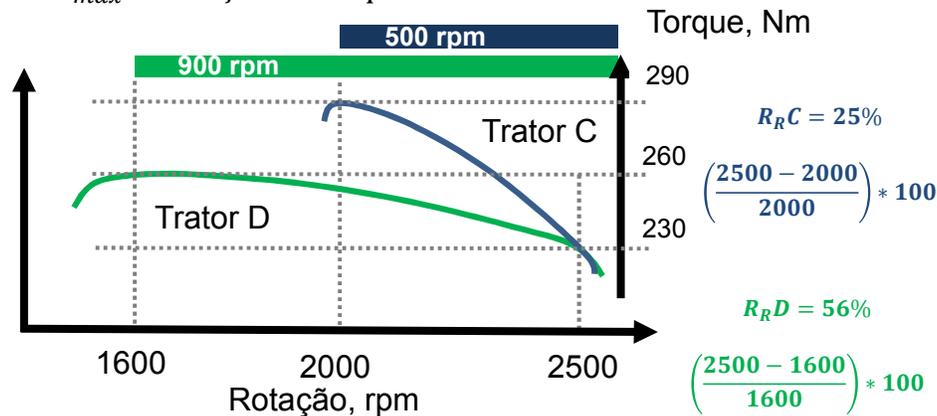
Reserva de rotação → flexibilidade em operações leves

R_R = reserva de rotação

$$R_R = \left(\frac{RP_{max} - RT_{max}}{RT_{max}} \right) * 100$$

RP_{max} = rotação de potência máxima

RT_{max} = rotação de torque máximo



36

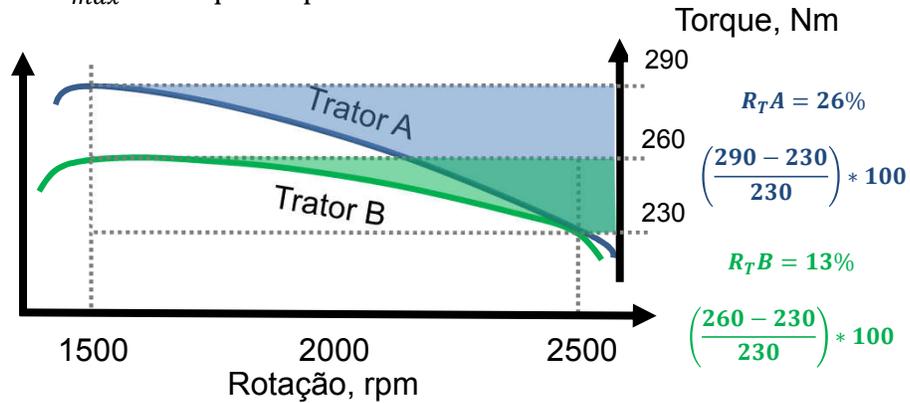
Reserva de torque → suportar carga momentânea

R_T = reserva de torque

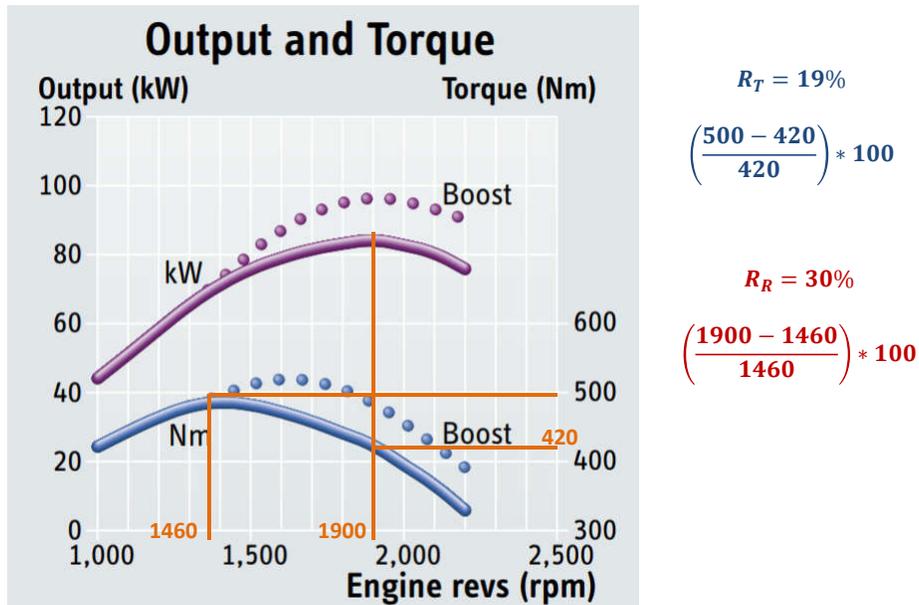
T_{max} = torque máximo

TP_{max} = torque na potência máxima

$$R_T = \left(\frac{T_{max} - TP_{max}}{TP_{max}} \right) * 100$$



37



38

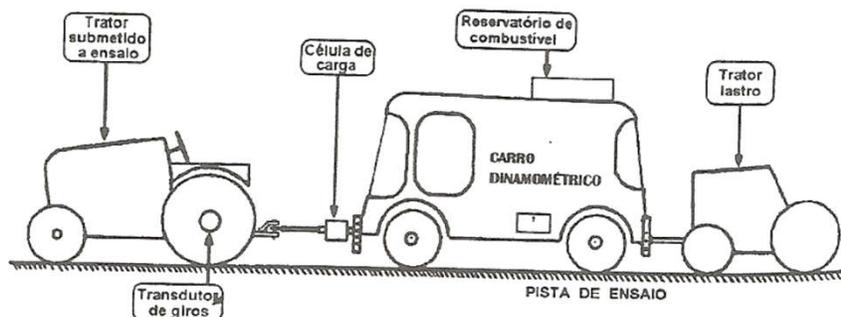
Potência na barra de tração e consumo de combustível

- Pista de concreto ou asfalto plana e sem remendos;
- Pneus novos;
- Linha de tração horizontal, respeitando limites de dirigibilidade
- Testes com e sem lastragem de acordo com o especificado pelo fabricante e pressão de pneus segundo fabricante dos pneus;
- **Limite de patinagem** para tratores de rodas **15%**
- Marchas no intervalo entre 2,5 e 17 km h⁻¹
 - Em cada marcha combinação de velocidade e torque que gere a maior potência

39

39

Desempenho do conjunto



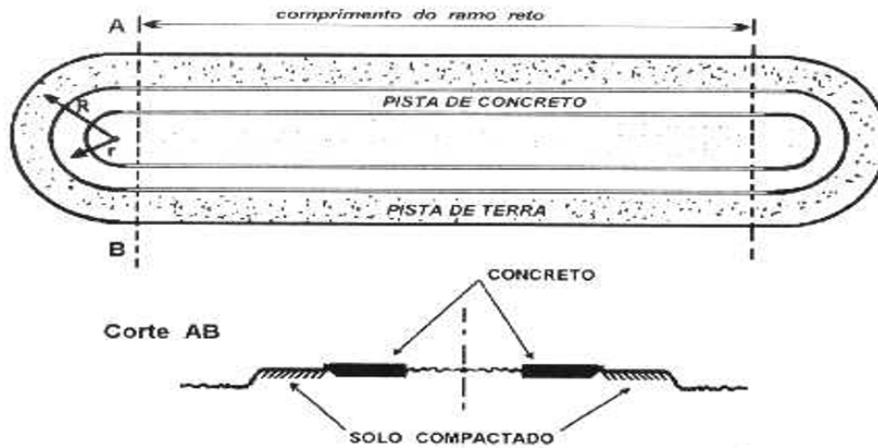
- Rotação do motor
- Força de tração
- Velocidade
- Patinagem
- Consumo de combustível

- Temperaturas:
- combustível
 - óleo lubrificante
 - fluido de arrefecimento

Condições atmosféricas.

40

Potência na barra de tração e consumo de combustível

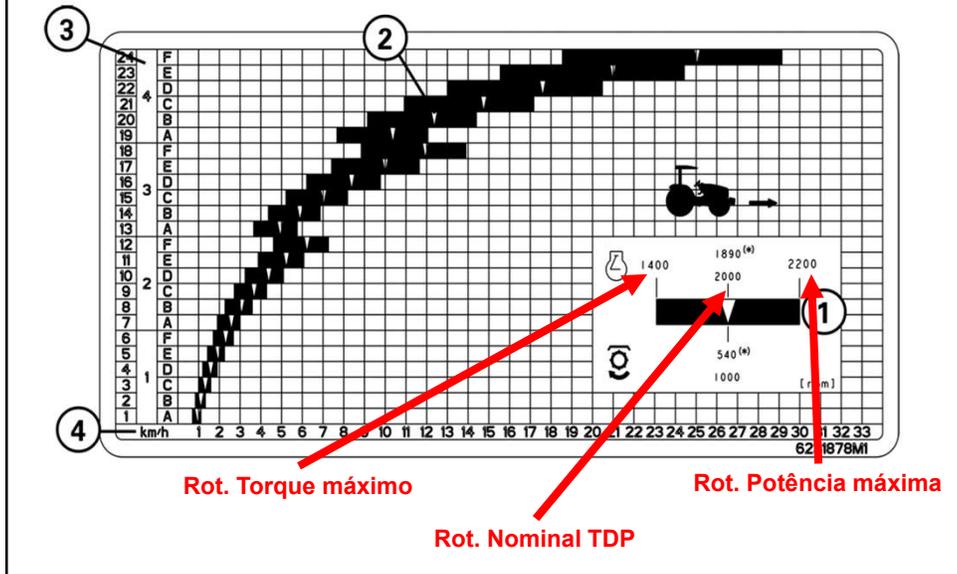


41



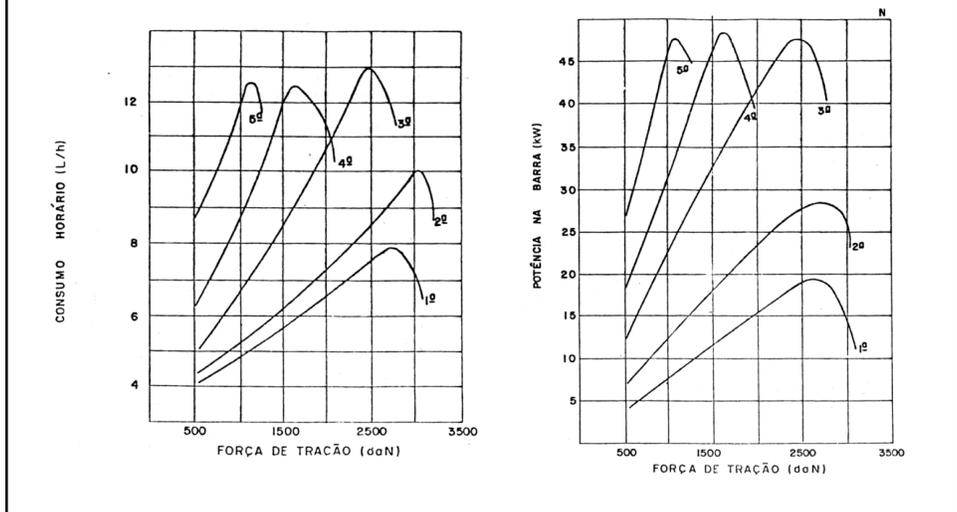
42

Seleção da marcha de trabalho



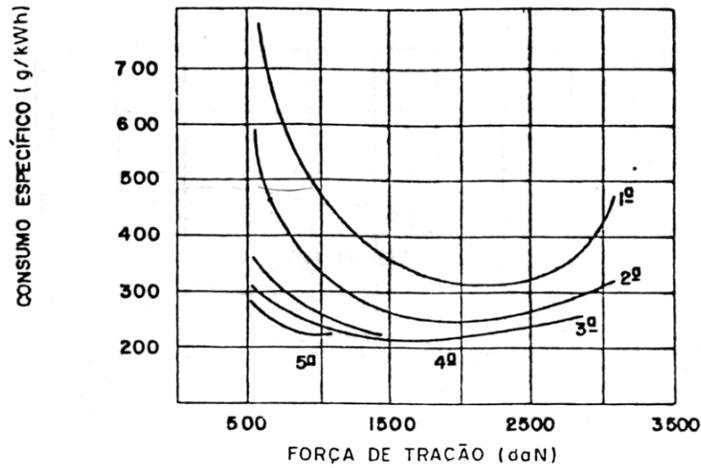
43

Potência na barra de tração e consumo de combustível



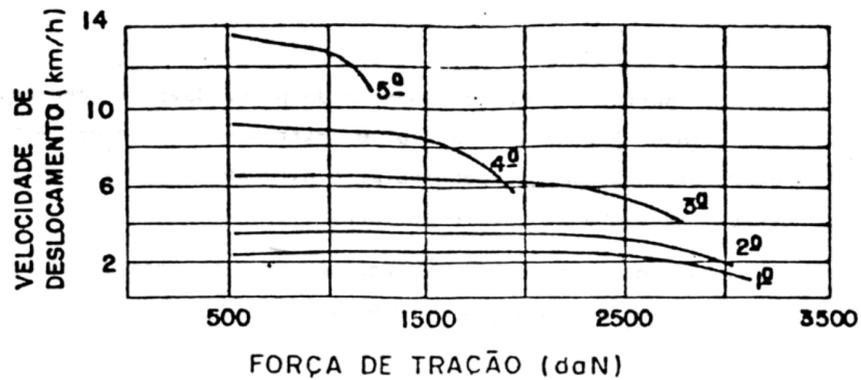
44

Potência na barra de tração e consumo de combustível



45

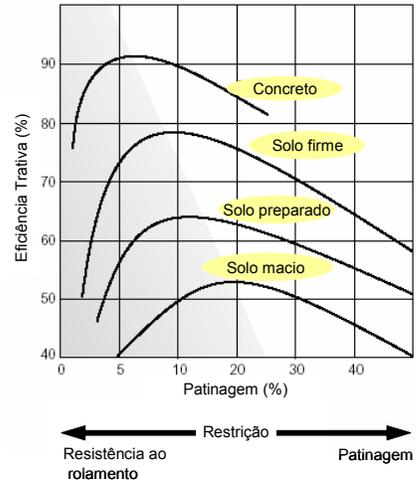
Potência na barra de tração e consumo de combustível



46

Desempenho em solos

$$\text{Eficiência Tração}(\%) = \frac{\text{Potência na Barra de tração}}{\text{Potência no rodado}}$$



47

ALGUNS RESULTADOS

48

DLG - OCDE

prof Tractor test



Technical data, test results

Class Arion 450

Technical data

Results from the test station

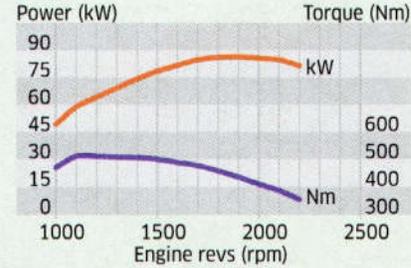
The test results

Output and torque

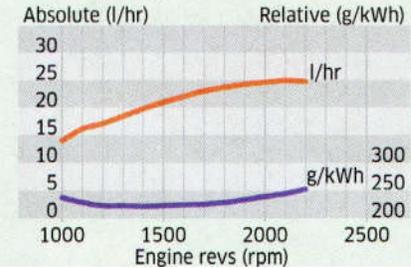
Fuel consumption

Fuel economy at typical performance

Output and torque

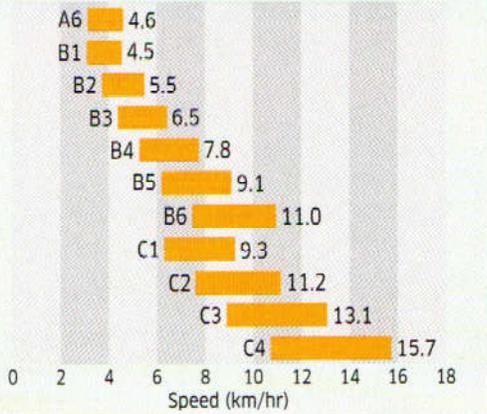


Fuel consumption



DLG Powermix

9 speeds in the 4-12km/hr band

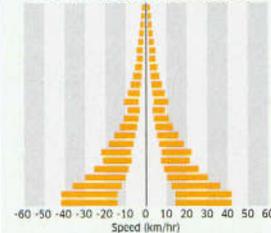


Speed ratios

Hexashift gearbox with 24/24 speeds, nine of which are in the 9-12km/hr range (but some are very closely spaced). A 50km/hr option is not available, although a creeper offers speeds from 140m/hr.



24 forward/reverse speeds



DLG - OCDE

Results from the test station

Pto output

Max (1,900rpm)	86.5kW
At rated speed	81.4kW

Diesel/AdBlue consumption

Max output	233+22.4g/kWh
At rated speed	252+23.3g/kWh
Absolute max/at rated	24.2/24.7l/hr

Torque (no boost)

Max	510Nm (1,200rpm)
Torque rise	44%
Engine speed drop	45%
Start-off torque	132%

Transmission

No. of gears in 4-12km/hr range	Nine
---------------------------------	------

Rear lift capacities (90% max oil pressure, cor.)

Bottom/middle/top	4,149/4,585/4,788daN
Lift range under load	67.2cm (23.0-90.2cm)

Front lift capacities (90% max oil pressure, cor.)

Bottom/middle/top	1,719/2,362/3,321daN
Lift range under load	79.4cm (15.6-95.0cm)

Hydraulic output

Operating pressure	185 bar
Max flow	104.7l/min
Max output	27.7kW (99.7l/min, 167 bar)

Drawbar power

Max (1,900rpm)	79.6kW (254.0g/kWh)
At rated speed	74.2kW (276.0g/kWh)

Noise level (under load at driver's ear)

Cab closed/open	75.7/78.9dB(A)
-----------------	----------------

Braking

Maximum mean deceleration	4.2m/s ²
Pedal force	45.0daN

Turning circle

4WD disengaged	11.20m
----------------	--------

51

51

DLG - OCDE

Test weight

Front axle	2,830kg
Rear axle	3,040kg
Kerb weight	5,870kg
Gross axle weight (front/rear)	4,000/6,800kg
Max permissible weight	8,500kg
Payload	2,630kg
Power-weight ratio	63kg/kW
Wheelbase	253cm
Track width front/rear	197/194cm
Ground clearance	53.0cm

52

52

DLG - OCDE

Claas Arion 450

Technical data

Engine: 92kW/125hp (ECE-R 120) at 2,200rpm; water-cooled, 4.5-litre, four-cylinder FPT N45, Stage IV (Tier 4F) with DOC, SCR and AdBlue; turbo-charger; inter-cooling; 190-litre fuel tank, 22-litre AdBlue tank

Transmission: 24F/24R Hexashift with six powershift steps and four main ranges, powershuttle, automatic functions for field and road; 40km/hr, optional creeper box starts at 140m/hr

Brakes: Wet disc brakes at the rear, mechanical hand brake; air brakes standard for 2018

Electrics: 12V, 180amps battery, 200amps alternator, 4.2kW/5.7hp starter power

Linkage: Cat II/III; ELC with draft link control and load compensating drop-rate control; front linkage and pto are options

Hydraulics: 110l/min swash plate pump (standard 60l/min gear pump), 190 bar, up to six spools (four + two electric spools with time and flow control); 25/50 litres of available oil for external implements

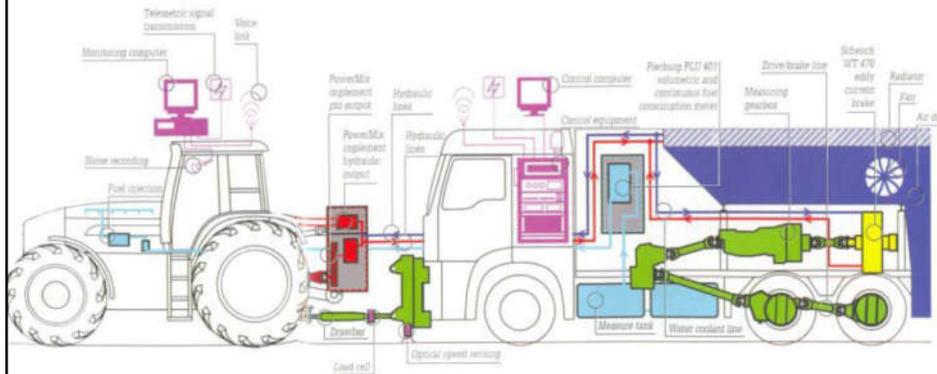
Pto: 540/540E/1,000; 1 3/8in, six/ 21 splines, electro-hydraulic engagement

Axles and running gear: Flanged axle, multi-plate differential locks, electro-hydraulic engagement as for 4WD. Tested tyres 480/65 R28 at front and 600/65 R38 at rear

Service and maintenance: 12.3 litres of engine oil (oil change intervals of 600 hours); 67.0 litres of transmission/hydraulic oil (1,800 hours), 16.0-litre cooling system

List price: Arion 450 in base spec from £87,640, CSI spec £92,090, CIS+ spec £100,070, Hexashift £2,275, front suspension £4,400, cab suspension £1,640, front loader (incl brackets) £8,940, front linkage £2,810

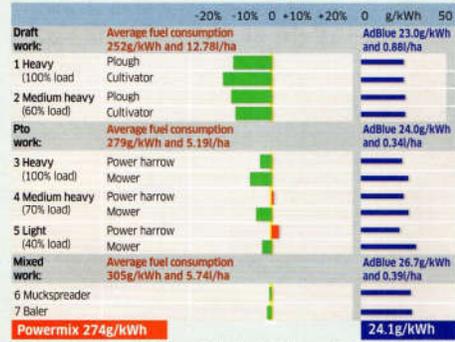
DLG Powermix



DLG Powermix

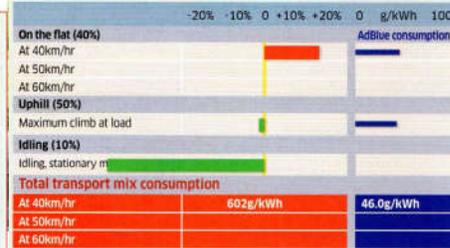
Claas Arion 450

Fuel consumption in field work



The Powermix figure shown at the bottom to the left and is arrived at by averaging the seven individual tests. The table shows average results for the categories draft work, plo work and mixed work, measuring fuel consumption in grams per kilowatt hour and in litres per hectare. The right graph charts the AdBlue consumption curve (AdBlue is not a fuel but is diesel exhaust fluid and used by the SCR system). The bars are narrower here because AdBlue is less expensive than diesel. Blue text marks the average rates. The yellow line in the left graph shows the average result obtained from all previous Powermix tests. The length of the individual bars indicates tractor performance in this specific type of work was better than (green) or fell short of (red) the average result of all Powermix candidates tested to date. The average Powermix parameter, obtained from all tractors tested to present, is currently 269g/kWh. For all types of work the Arion 450's Powermix was below average. The overall Powermix result for diesel consumption is 4.8% below our current running average. But we still need to account for the AdBlue, and in this part of the test we achieved an average of 6.9 litres of DEF per 100 litres of diesel.

Fuel consumption in transport work

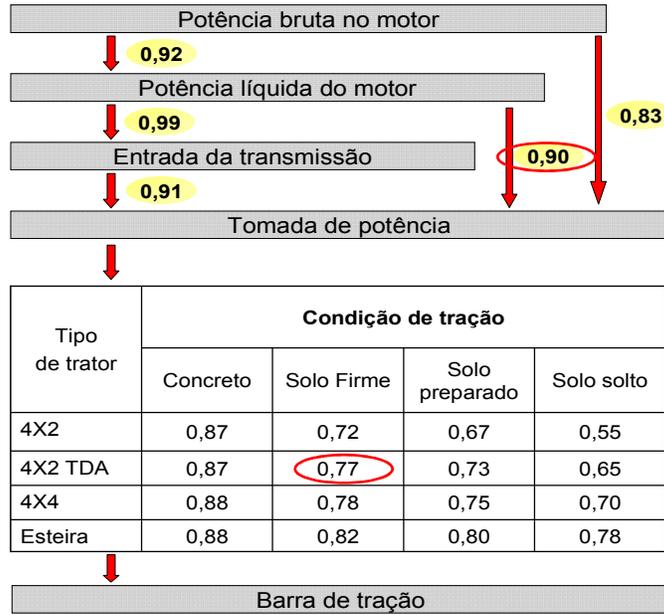


The DLG transport test is currently carried out on the road. The test tractor travels around a course, pulling a trailer with a load tailored to the tractor's pto output. Each measurement is repeated three times. Uphill work accounts for 50% of the total result, travelling on a flat surface represents 40% and idling for 10%. The yellow lines in the graph mark the average result obtained from all tractors which have participated in the transport test so far. The length of the bars indicates the percentage by which the test candidate was better than (green) or fell short of (red) the average result. The current average for the Powermix transport test is 590g/kWh at 40km/hr and 575g/kWh at 50km/hr. At 40km/hr the Claas was higher than average. Here the overall consumption was only 2% higher than the average rate obtained from all tractors tested up to now.

Exercício

Qual a força disponível na barra de tração de um trator 4x2 TDA de 150 cv tracionando um equipamento de preparo do solo a 5 km h⁻¹, em terreno firme?

- Velocidade: $5 \text{ km h}^{-1} \div 3,6 = 1,39 \text{ m s}^{-1}$
- Potência no eixo = $150 * 0,9 \rightarrow 135 \text{ cv}$
- Potência na barra = $135 * 0,77 \rightarrow 104 \text{ cv}$
- Potência (W) = Força (N) * Velocidade (m s⁻¹)
- $104 * 735 = F * 1,39$ (1 cv = 735 W)
- $F = 54992 \text{ N} \rightarrow 54,9 \text{ kN}$
 - Ou aproximadamente 5610 kgf (1 N = 0,102 kgf)



Fonte: ASABE

57



FIM

Leandro M. Gimenez
 imgimenez@usp.br

58