



UFRRJ UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Tecnologia-Departamento de Engenharia
Área de Máquinas e Mecanização Agrícola

IT154- MOTORES E TRATORES

ESTIMATIVA DA POTÊNCIA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Carlos Alberto Alves Varella

varella.caa@gmail.com



Tipos de potências

- Três tipos de potências são obtidas em ensaio de motores:
- **Teórica, indicada e efetiva.**
- Estas potências são utilizadas para calcular coeficientes que estimam o rendimento térmico, mecânico e termo-mecânico dos motores de combustão interna.



Tipos de potências

- TEÓRICA: considera que todo calor é convertido em energia mecânica;
- INDICADA: considera as perdas caloríficas;
- EFETIVA: considera perdas caloríficas e mecânicas.



Conceitos de potências

- A potência pode ser entendida como a quantidade de energia convertida ao longo do tempo. É a taxa de conversão de energia em função do tempo.
- Nos motores térmicos a energia térmica proveniente da combustão é convertida em energia mecânica.
- A energia mecânica é aquela capaz de movimentar objetos.



Unidades usuais de potência em motores de combustão interna

- As unidades usuais são: kW, hp e cv.
- A unidade internacional é quilowatt (kW)

Conversão de unidades de potência

- hp = horse power = 76 kgf.m.s^{-1} ;
- cv = cavalo vapor = 75 kgf.m.s^{-1} ;
- hp = 0,74532 kW;
- cv = 0,73551 kW.



POTÊNCIA TEÓRICA, kW

- Estimada em função do consumo e características do combustível (Equação 1)

$$P_T = q \cdot p_c \cdot d \quad (1)$$

P_T = potência teórica, kcal.h⁻¹;

q = consumo de combustível, L.h⁻¹;

p_c = poder calorífico do combustível, kcal.kg⁻¹;

d = densidade do combustível, kg.L⁻¹.



Potência teórica, kW

- equivalente mecânico do calor = 4,186 J
- 1 cal = 4,186 J
- 1 kcal = 4186 J

$$P_T = \frac{q \cdot p_c \cdot d}{3600} \cdot \frac{4186}{1000}$$

$$P_T = \frac{q \cdot p_c \cdot d}{3,6 \times 10^6} \cdot 4186$$

Poder calorífico

- O poder calorífico é medido queimando-se uma amostra de combustível em um calorímetro.

Combustível	Densidade (kg.L ⁻¹)	Poder calorífico		Relação Estequimétrica Ar/Combustível
		(kJ.kg ⁻¹)	kCal.kg ⁻¹	
Gasolina Comum	0,735	47600	11377	15,20
Diesel 1	0,823	45700	10923	15,00
Álcool Etílico	0,785	29700	7099	9,03



Exemplo: calcular a potência teórica de um motor. Dados:

- tipo de combustível: óleo diesel
- densidade do combustível: $0,823 \text{ kg.L}^{-1}$
- poder calorífico do combustível: $10.923 \text{ kcal.kg}^{-1}$
- consumo horário de combustível: 6 L.h^{-1}



Solução

$$P_T = 6 \cdot 10923 \cdot 0,823 = P_T = 53.937,774 \text{ kcal} \cdot h^{-1}$$

$$P_T = \frac{53937,774}{3,6 \times 10^6} \cdot 4186 = 62,72 \text{ kW}$$

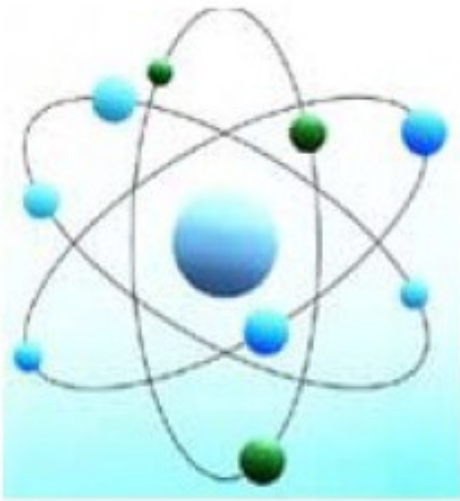
- $P_T = 62,72 / 0,74532 = 84,15 \text{ hp}$
- $P_T = 62,72 / 0,73551 = 85,27 \text{ cv}$

Características dos principais combustíveis

Combustível	Densidade (kg.L ⁻¹)	Poder Calorífico Superior		Relação Estequiométrica Ar/Combustível
		(kJ.kg ⁻¹)	kCal.kg ⁻¹	
Butano	0,580	49500	11831	15,50
Propano	0,509	50300	12022	15,70
Gasolina Comum	0,735	47600	11377	15,20
Diesel N. 1	0,823	45700	10923	15,00
Diesel N. 2	0,834	45500	10875	15,00
Álcool Metílico	0,792	22700	5426	6,49
Álcool Etílico	0,785	29700	7099	9,03
Álcool Butílico	0,805	36100	8628	11,20

Gás natural veicular (GNV)

Composição do Gás Natural - gasoduto Bolívia - Brasil



metano	CH ₄	91,80 %
etano	C ₂ H ₆	5,58 %
propano	C ₃ H ₈	0,97 %
ibutano	C ₄ H ₁₀	0,03 %
nbutano	C ₄ H ₁₀	0,02 %
Pentano (+)	C ₅ H ₁₂	0,10 %
nitrogênio	N ₂	1,42 %
dióxido de carbono	CO ₂	0,08 %

**Poder calorífico do GNV = 9.631 kcal.m⁻³;
= 12.491 kcal.kg⁻¹;**

Densidade relativa do GNV = 0,6425;

Densidade absoluta do ar = 1,2 kg.m⁻³;



PODER CALORÍFICO DO GNV

- Normalmente é expresso em kcal.m^{-3} . É convertido para kcal.kg^{-1} , dividindo-se o valor do poder calorífico (kcal.m^{-3}) pela densidade absoluta do GNV (kcal.m^{-3}).

$$p_c = \frac{p_c, \text{kcal.m}^{-3}}{d_a, \text{kg.m}^{-3}} (\text{kcal / kg})$$

p_c = poder calorífico do GNV, kcal.kg^{-1} ;

d_a = densidade absoluta do GNV, kg.m^{-3} .



DENSIDADE ABSOLUTA DO GNV

- A densidade absoluta do GNV é obtida multiplicando-se a densidade relativa do GNV pela densidade absoluta do ar.

$$d_a = d_r \cdot d_{ar} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d_a = densidade absoluta do GNV, kg.m^{-3} ;

d_r = densidade relativa do GNV;

d_{ar} = densidade absoluta do ar = $1,2 \text{ kg.m}^{-3}$.

EXEMPLO: Calcular a potência teórica em kW de um motor GNV que consome $8,63 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O combustível apresenta poder calorífico de $9.631 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-3}$ e densidade relativa de $0,6425$.

- $p_c = 9.631 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-3}$; $d_r = 0,6425$;
- $d_{ar} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $q = 8,63 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

$$d_a = 0,6425 \times 1,2 = 0,771 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$p_c = \frac{9.631}{0,771} = 12.491 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$P_T = \frac{8,63 \cdot 12491 \cdot 0,771}{3,6 \times 10^6} \cdot 4186 = 96,64 \text{ kW}$$

$$P_T = 96,64 \text{ kW}$$



Potência indicada, kW

- Estimada a partir da pressão na expansão, características dimensionais e rotação do motor.

$$P_I = \frac{F \cdot L}{t} = \frac{W}{t}$$

F=força na expansão; L=curso do pistão; W=trabalho realizado no ciclo; t=tempo para realizar o ciclo.

$$P_I = \frac{P \cdot A \cdot L \cdot n}{t} = P \times V_{cil} \times n \times \frac{1}{t}$$

$$P_I = P \times V_{cil} \times n \times \frac{1}{t} \quad (2)$$



Tempo para realizar o ciclo: 2T

$$t_{2T} = \frac{2 \cdot L}{VLP} \therefore VLP = 2 \cdot L \cdot N \therefore t_{2T} = \frac{2 \cdot L}{2 \cdot L \cdot N} = \frac{1}{N}$$
$$t_{2T} = \frac{1}{N}$$

$$P_{I2T} = P \times V_{cil} \times N \times n \times 10^{-3}$$

P_{I2T} =potência indicada para motores 2T, kW; P =pressão na expansão, Pa; V_{cil} = volume do cilindro, m^3 ; N = rotação do motor, rps; n = número de cilindros.



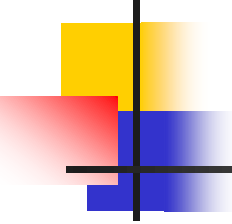
Tempo para realizar o ciclo: 4T

$$t_{4T} = \frac{4 \cdot L}{VLP} \therefore VLP = 2 \cdot L \cdot N$$

$$t_{4T} = \frac{4 \cdot L}{2 \cdot L \cdot N} = \frac{2}{N}$$

$$P_{I4T} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot V_{cil} \cdot N \cdot n \cdot 10^{-3}$$

P_{I4T} =potência indicada para motores 4T, kW; P =pressão na expansão, Pa; V_{cil} = volume do cilindro, m^3 ; N = rotação do motor, rps; n = número de cilindros.



Exemplo: calcular a potência indicada
motor 4T, 4 cilindros, $D \times L = 100 \times 90$ mm,
 $P = 12 \text{ kgf.cm}^{-2}$, rotação do motor = 1800 rpm

$$P_{(Pa)} = 12 \times 9,80665 \times 10^4 = 1.176.798 \text{ Pa}$$

$$V_{cil} = \frac{\pi \times 0,10^2}{4} \times L = 7,85398 \times 10^{-3} \times 90 \times 10^{-3}$$

$$V_{cil} = 7,068582 \times 10^{-4} \text{ m}^3; \quad N = \frac{1800}{60} = 30 \text{ rps}$$

$$P_{I4T} = \frac{1}{2} \times 1.176.798 \times 7,068582 \times 10^{-4} \times 30 \times 4$$

$$P_{I4T} = 49.909,75 \text{ W} = 49,91 \text{ kW}$$



Potência efetiva

Estimada em função do torque e da rotação do motor. A potência máxima é obtida na máxima rotação do motor.

$$P_E = 2 \cdot \pi \cdot T_O \cdot N$$

P_E = potência efetiva, W;

T_O = torque no motor, N.m;

N = rotação no motor, rps.

m.kgf = 9,80665 N.m; cv = 0,73551 kW

Potência efetiva, W

Estimada em função da força tangencial FB_y e da velocidade angular Ω do ponto P1.

$$P_E = FB_y \cdot \Omega$$

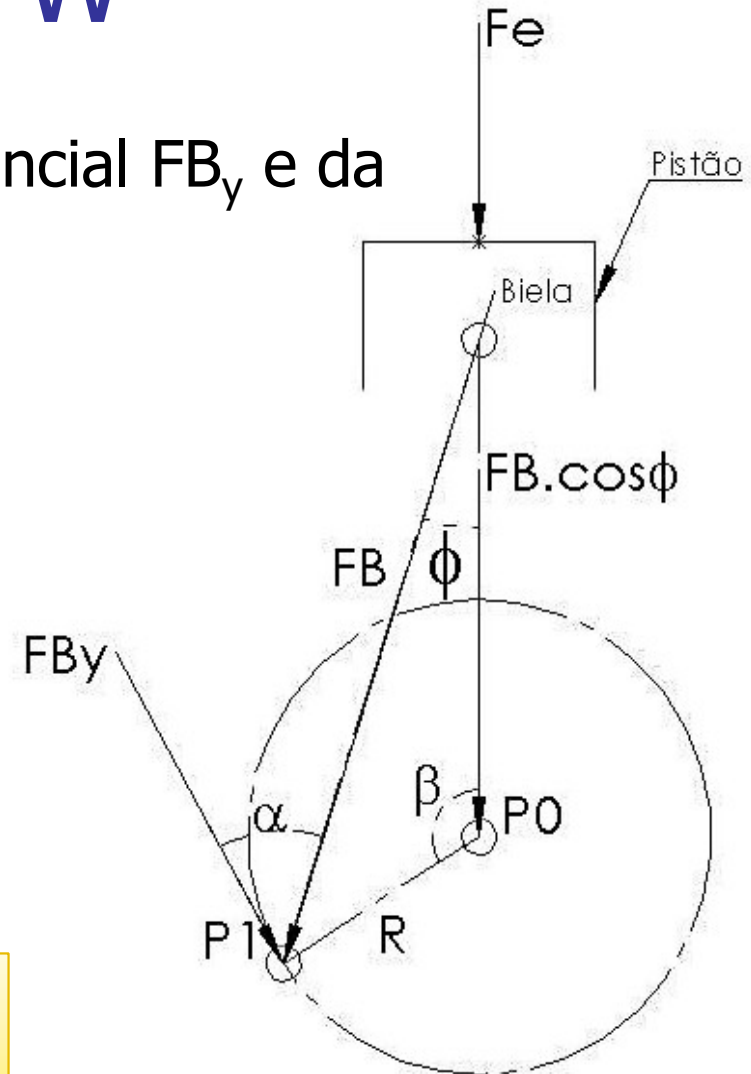
$$\Omega = C \times N$$

$$\Omega = \pi \times 2 \times R \times N$$

$$TO = FB_y \times R \text{ (em P1)}$$

$$P_E = \frac{TO}{R} \cdot \pi \times 2 \times R \times N$$

$$P_E = 2 \times \pi \times TO \times N$$





Torque do motor, N.m

- O torque ou força de torque expressa a capacidade do motor movimentar objetos.

$$TO = FB_y \cdot R$$

$$TO = FB \cdot \cos\alpha \cdot R \therefore \alpha = 90 - (180 - \beta - \phi)$$

$$TO = FB \times \cos(90 - 180 + \beta + \phi) \times R$$

TO = torque no volante do motor ou torque do motor, N.m;

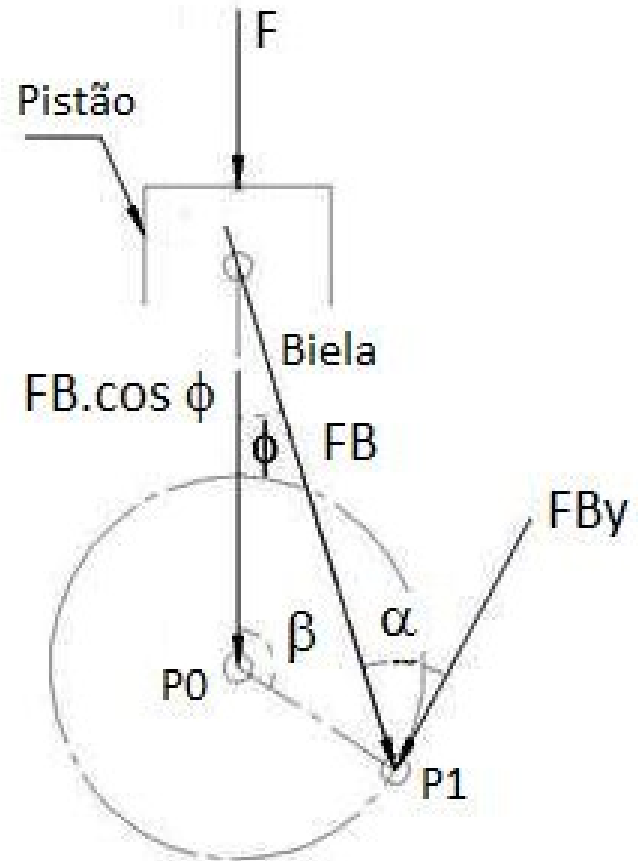
R = raio da circunferência, m;

FB = força na haste da biela, N.

Exemplo:

Calcular força na haste da biela e torque no eixo da árvore de manivelas

- Força na haste da biela e o torque no eixo da árvore de manivelas. Figura ao lado. Dados: pressão na expansão = 2 N/mm^2 ; diâmetro do cilindro 100 mm ; $\phi = 20^\circ$; $\beta = 120^\circ$; $R = 75 \text{ mm}$.



Solução:

Força na haste da biela, FB

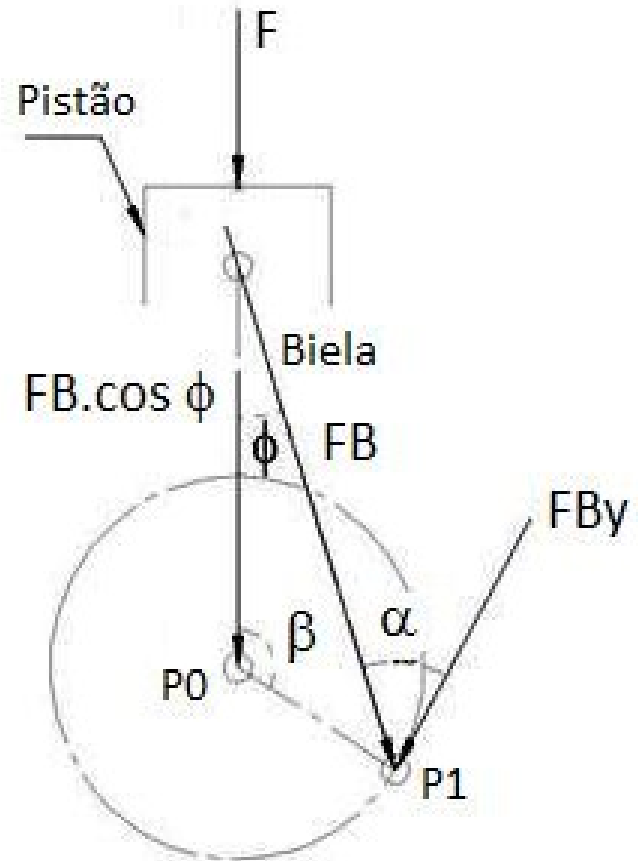
$$FB \times \cos\phi = P \times A$$

$$FB = \frac{P \times A}{\cos\phi}$$

$$FB = \frac{2}{\cos 20^\circ} \cdot \frac{\pi(100)^2}{4}$$

$$FB = 16716 \text{ N}$$

$$FB = 16,716 \text{ kN}$$



Solução:

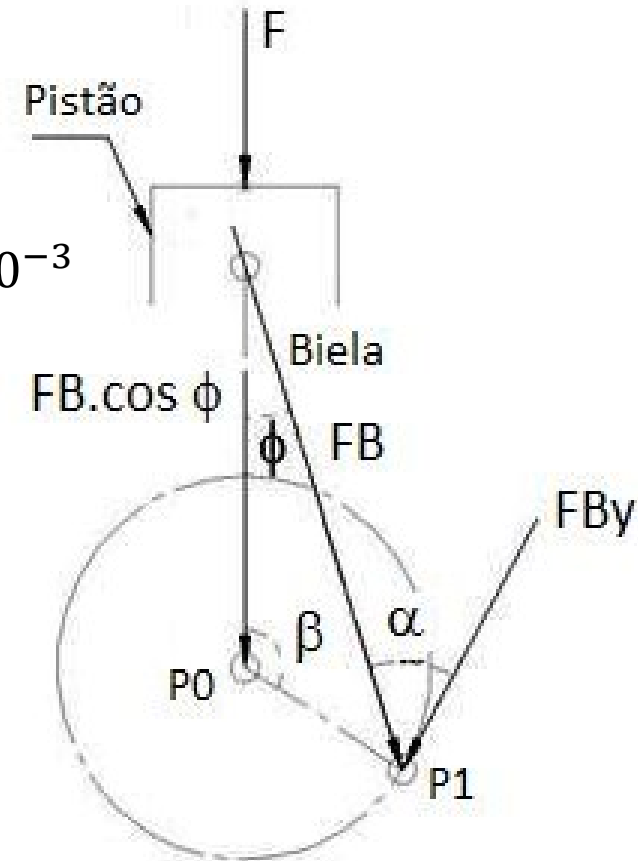
Torque no eixo da árvore de manivelas

$$TO = FB \times \cos(90 - 180 + \phi + \beta) \times R$$

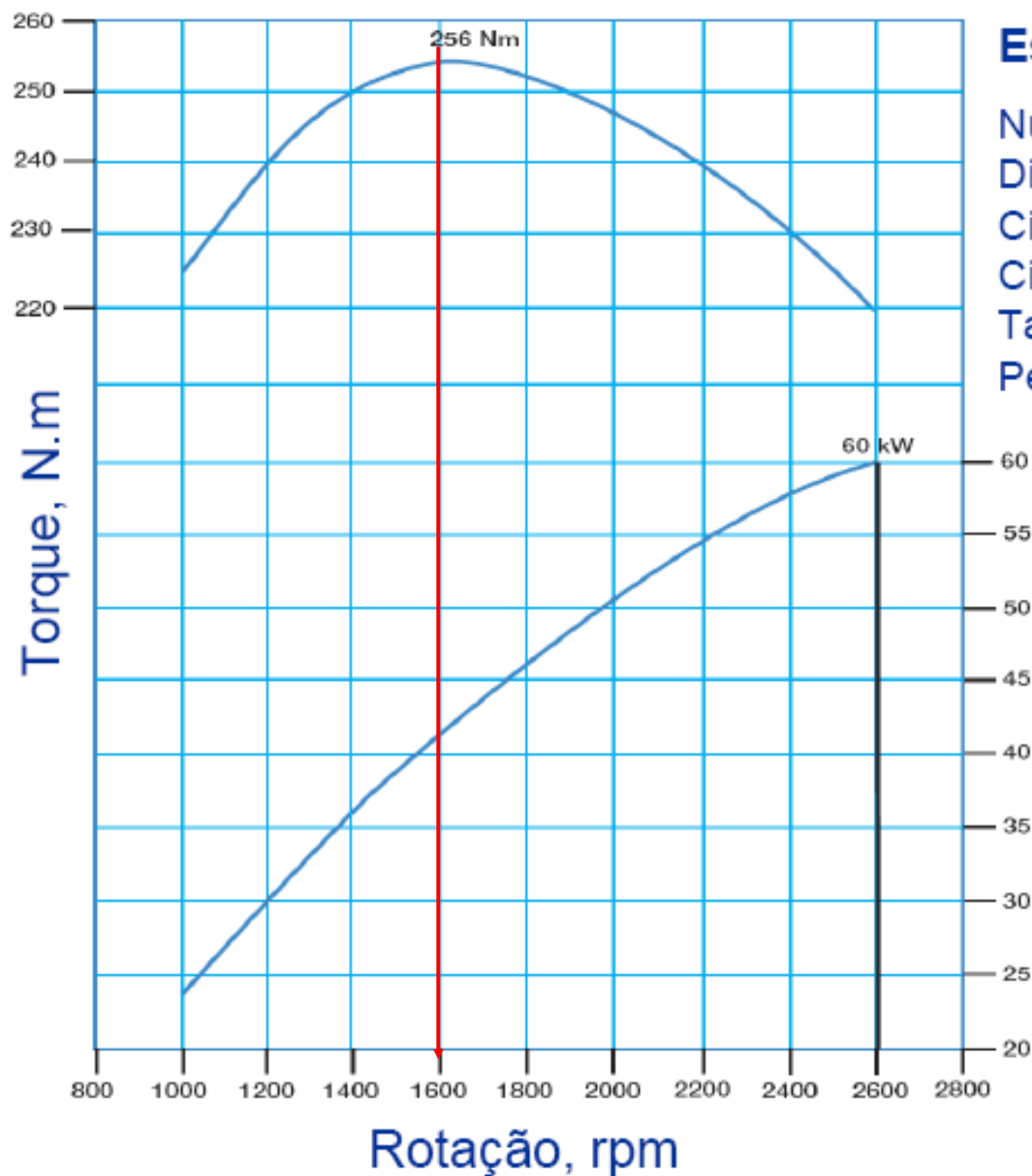
$$TO = 16716 \times \cos(90 - 180 + 20 + 120) \times 75 \times 10^{-3}$$

$$TO = 16716 \times \cos 50 \times 75 \times 10^{-3}$$

$$TO = 805,86 \text{ N.m}$$



Variação do torque e da potência em função da rotação do motor



Especificações: Perkins Série 800

Número de cilindros = 4 em linha;
Diâmetro x Curso = 94 mm x 120 mm;
Cilindrada = 3,3 L;
Ciclo = 4 tempos;
Taxa de compressão = 19:1;
Peso = 269 kg.

Calcular o torque da potência máxima

Ficha Técnica do Motor Veicular:

Modelo Motor		D229-3	D229-4	TD 229-EC-4	D 229-6
Aspiração		Natural	Natural	Turbo	Natural
Disposição / Cilindros		L 3	L 4	L 4	L 6
Diâmetro x Curso	mm	102x120			
Cilindrada Total	litros	2,94	3,92	3,92	5,88
Taxa de compressão		17:01	17:01	16:01	17:01
Potência	kW(cv)	47(64)	66(90)	90(122)	99(134)
Rotação de Potência Máx.	rpm	2.800	3.000	2.800	2.800
Torque	Nm	186	274	363	382
Rotação de Torque Máx.	rpm	1600	1500	1600	1600
Peso Seco	kg	336	395	418	506
Dimensões	Altura mm	822	854	992	992
	Comp. mm	818	921	1444	1444
	Larg. mm	663	730	699	699



Exercício

- Dispondo dos dados da ficha técnica do motor apresentados anteriormente. Calcular a reserva de torque.

Especificações técnicas de tratores agrícolas



Especificações Técnicas

Modelos 885S, 885TS, 985S e 1180S.

Modelo	885 S	885 TS	985 S	1180 S
Versões	4x2 e 4x4	4x2 e 4x4	4x4	4x4
Motor	VALMET 420 D 4 cilindros	VALMET 420 DS Turbo - 4 cilindros	VALMET 420 DS Turbo - 4 cilindros	VALMET 620 D 6 cilindros
Potência CV(kW) NBR	85 (62,5) a 2300 rpm	92 (67,6) a 2300 rpm	105 (77) a 2300 rpm	118 (87) a 2300 rpm
Torque Nm (mkgf)	300 (30,6) a 1400 rpm	340 (34,7) a 1500 rpm	390 (40) a 1400 rpm	425 (43,4) a 1400 rpm
No. de Marchas	8+4 e 16+8	8+4 e 16+8	8+4 e 16+8	8+4 e 16+8
Tomada de Potência	independente	independente	independente	independente
Velocidade da TDP rpm	540 opc. 540 + 1000 ou prop.	540 opc. 540 + 1000 ou prop.	540 opc. 540 + 1000 ou prop.	540 opc. 540 + 1000 ou prop.
Capacidade do Sist. Hidráulico	2590 kgf a 610 mm do olhal	2590 kgf a 610 mm do olhal	2590 kgf a 610 mm do olhal	2590 kgf a 610 mm do olhal



RENDIMENTOS DE MOTORES TÉRMICOS

- **Rendimento térmico, RT**

$$RT = \frac{P_I}{P_T}$$

P_I =potência indicada

P_T =potência teórica



Rendimento mecânico, RM

$$RM = \frac{P_E}{P_I}$$

P_E = potência efetiva

P_I = potência indicada



Rendimento termo-mecânico

$$RTM = \frac{P_E}{P_T}$$

P_E = potência efetiva

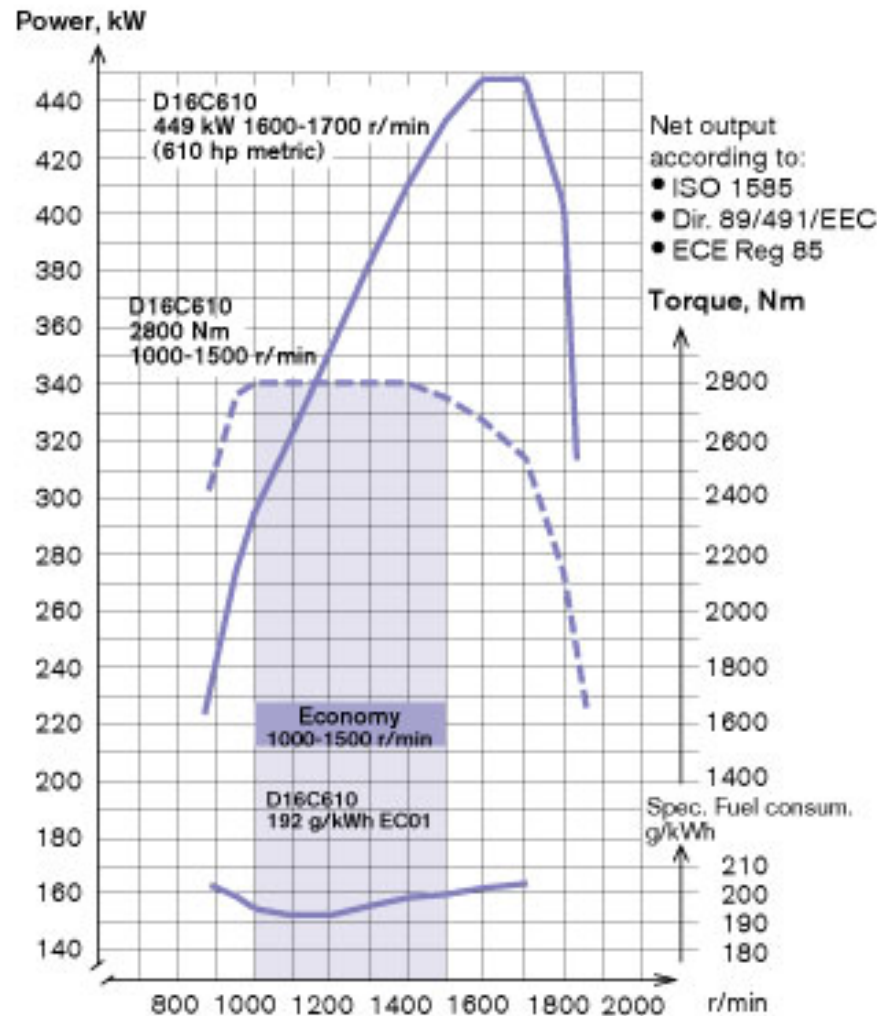
P_T = potência teórica



CURVAS CARACTERÍSTICAS

- São utilizadas para analisar o comportamento do torque, potência e consumo de combustível em função da rotação do motor.

Variação do torque, potência e consumo de combustível em função da rotação do motor





FIM DA AULA
