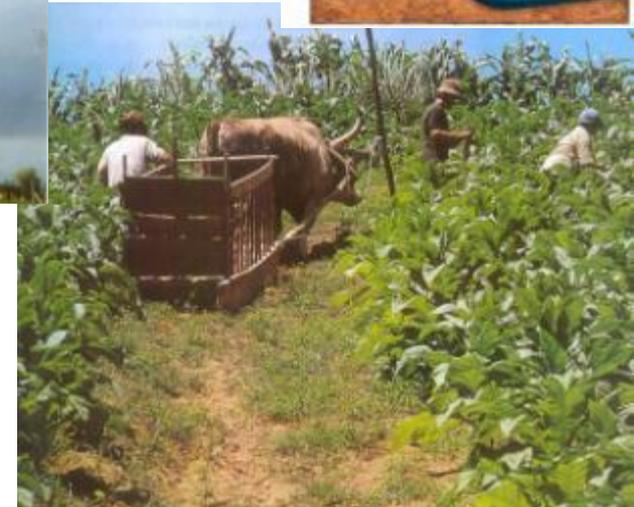
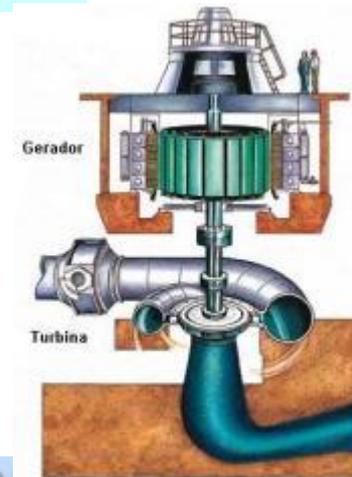


LER 332 - Mecânica e Máquinas Motoras

Departamento de Engenharia de Biosistemas

Fontes Alternativas de Potência Mecânica

Prof. J. P. Molin



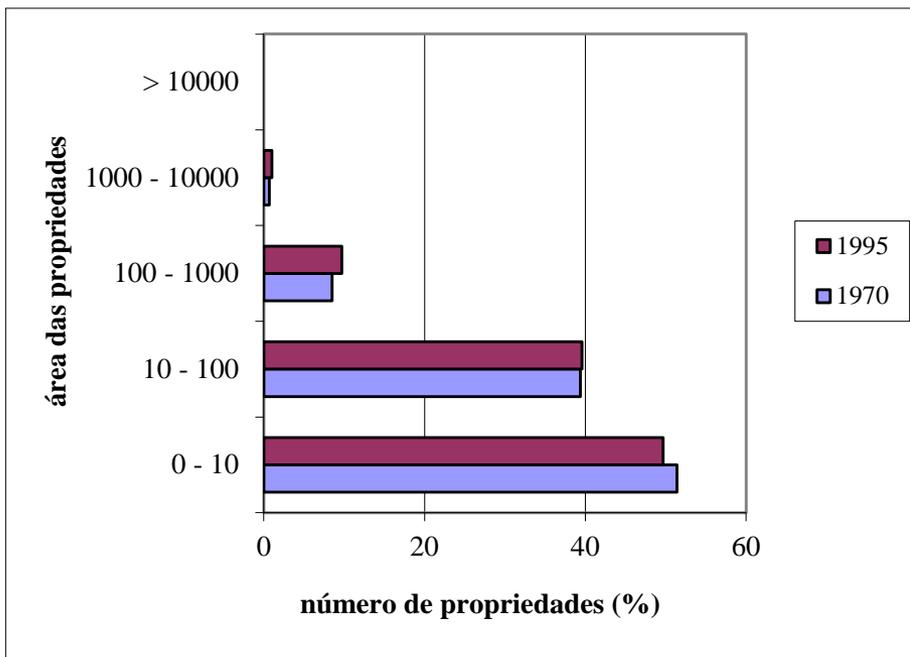
Objetivos específicos

- Abordar as três fontes alternativas de potência mecânica historicamente associadas ao meio rural, sob a ótica de máquinas motoras:
 - tração animal,
 - energia eólica
 - energia hidráulica;
- Estabelecer parâmetros básicos para a seleção, utilização e dimensionamento de sistemas com cada uma dessas três fontes.

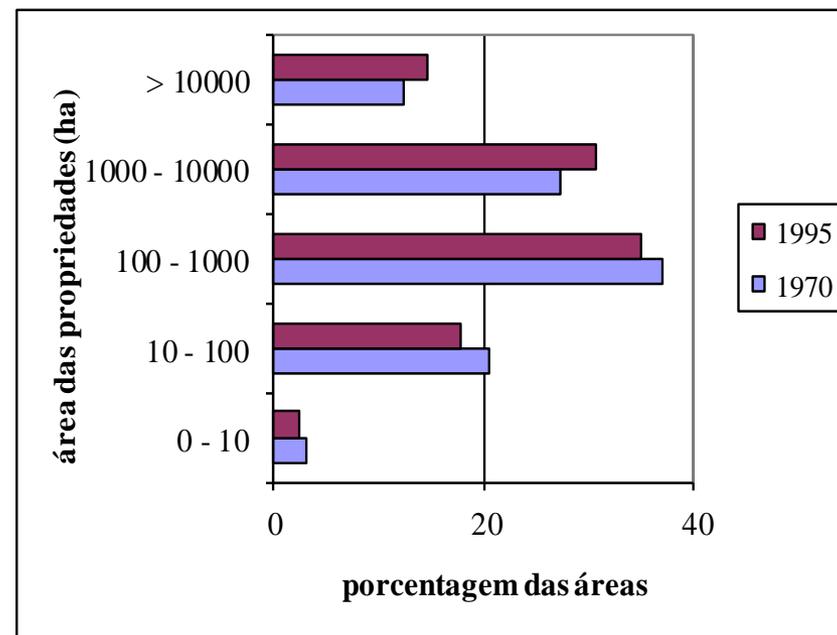
Fontes de energia na agricultura

- Combustíveis fósseis
- Tração animal
- Energia humana
- Energia elétrica
- Energia solar
- Energia hidráulica
- Energia eólica
- Biomassa
 - Lenha
 - Carvão
 - Biogás
 - Etanol
 - Biodiesel
 - Gasogênio
 - Restos de culturas

Distribuição fundiária no Brasil



Comparativo entre o número de estabelecimentos agrícolas entre os anos de 1970 e 1995.



Comparativo entre a proporção da área dos estabelecimentos agrícolas entre 1970 e 1995

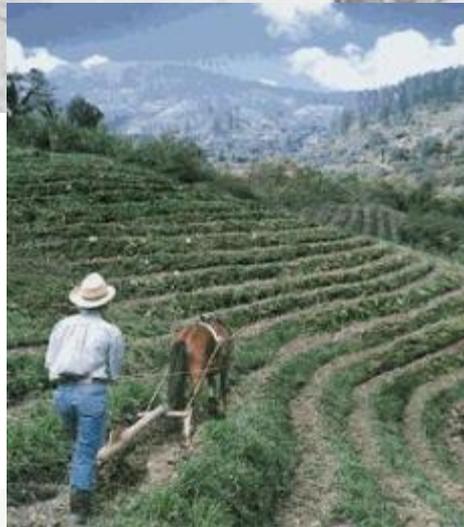
Os **minifúndios** correspondem a 72% do total dos imóveis rurais do país e ocupam apenas 12% da área total desses imóveis (**minifundio = inferior ao módulo fixado para a região**)

4,7 mi de estabelecimentos de agricultura familiar (0 a 100 ha) = 85% dos estabelecimentos e 24% da área (IBGE, 2006)

Tração Animal

Romênia, União
Europeia, 2011



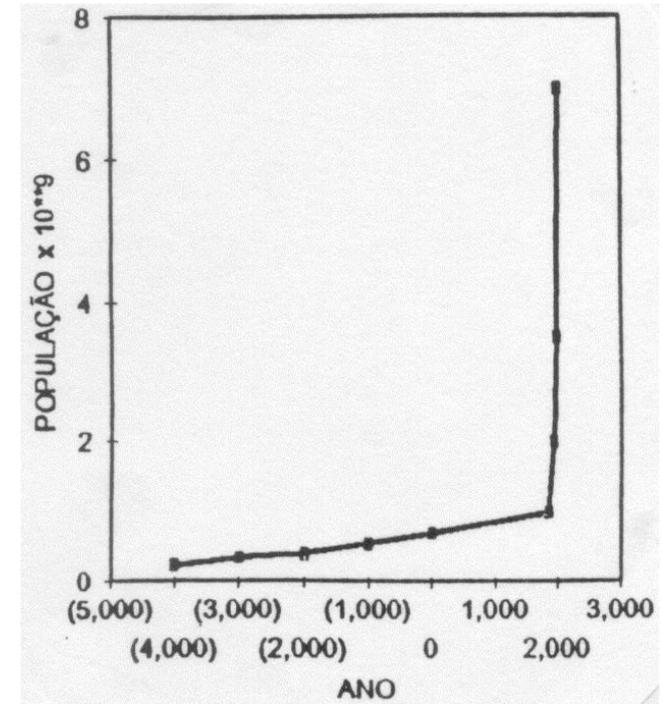


Leitura obrigatória

- MIALHE, L.G. Máquinas motoras na agricultura. EDUSP, São Paulo, 1980.
Cap 2, v.1

Porque tração animal?

- Estágios da agricultura
 - Subsistência: 20.000 A.C. → primeira ferramenta agrícola
 - Cresce a população do mundo: 2.800 A.C. → primeiro arado
 - Revolução industrial
 - Máquina a vapor
 - Motor de combustão interna
 - Primeiros tratores agrícolas (± 1890)
 - Crescimento geométrico da população





Colhedora de cereais (de tração animal)

Importância da tração animal no Brasil

“... O agricultor que utiliza tração animal, caminha de 80 a 150 km na condução de 1 ha de milho, desde o preparo do solo até a colheita. Isso significa que cultivando 10 ha/ano de milho, muitos agricultores já deram uma volta ou mais ao redor do globo terrestre (a pé), no período de 40 anos.”

Monegat, C. Revista Plantio Direto, Maio/Junho, 1996.

Importância da tração animal no Brasil – boa parte da agricultura familiar ainda tem a tração animal como maior fonte de potência da propriedade

A FORÇA DO AGRICULTOR FAMILIAR

- No Brasil, são mais de 4,1 milhões de estabelecimentos familiares, o equivalente a 84% dos imóveis rurais.
- De cada dez trabalhadores do campo, cerca de oito estão ocupados em atividades familiares.
- Quase 40% do Valor Bruto da Produção Agropecuária (VPA) é gerado pela agricultura familiar. São mais de R\$ 60 bilhões.
- De todos os alimentos consumidos pelo País, a agricultura familiar produz:
 - 70% do feijão**
 - 84% da mandioca**
 - 58% da carne suína**
 - 54% do leite**
 - 49% do milho**
 - 40% de aves e ovos**

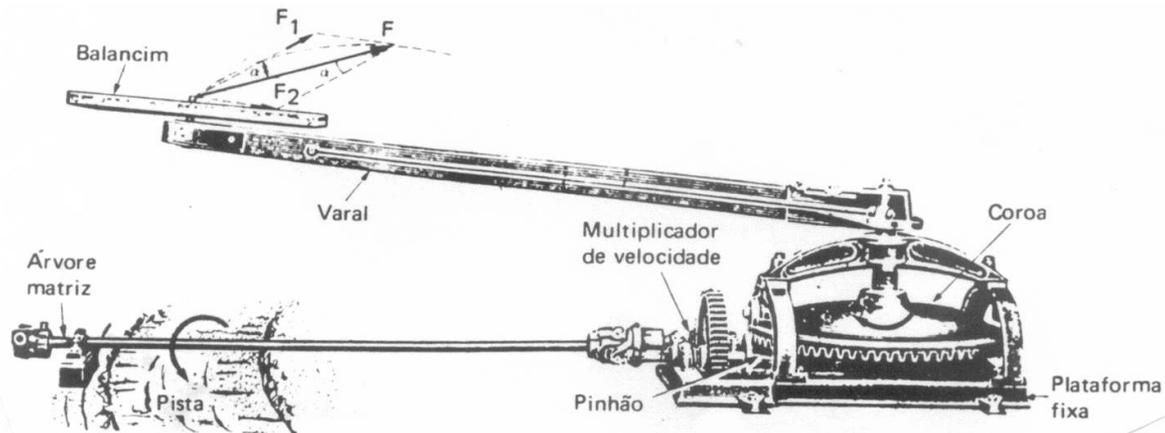
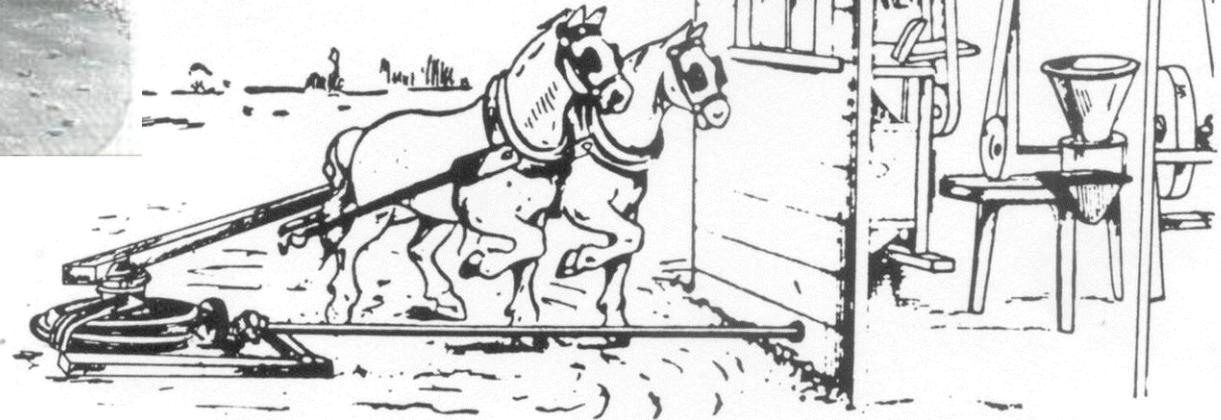
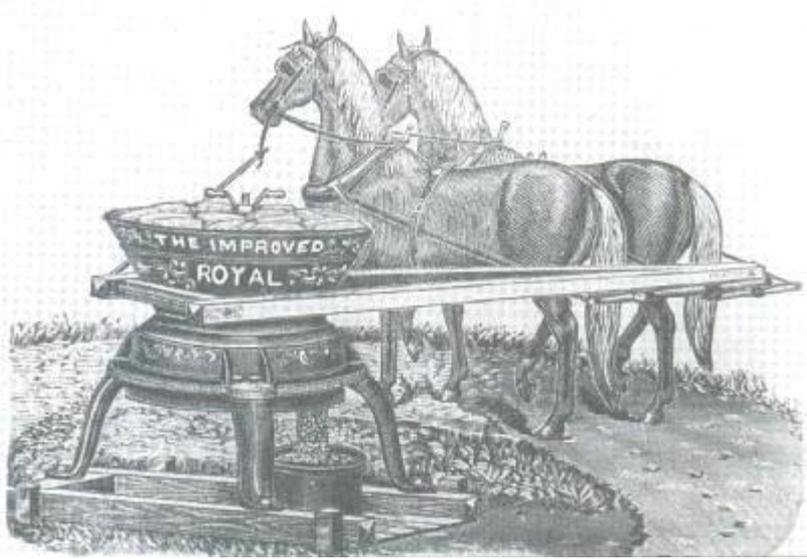
Animal doméstico como fonte de potência

- Energia contida no alimento → energia mecânica
- Motor animal
 - Energia fixada no organismo
 - Energia para calor e trabalho
 - Energia rejeitada (excremento)
- Enfoque: capacidade do animal em realizar trabalho

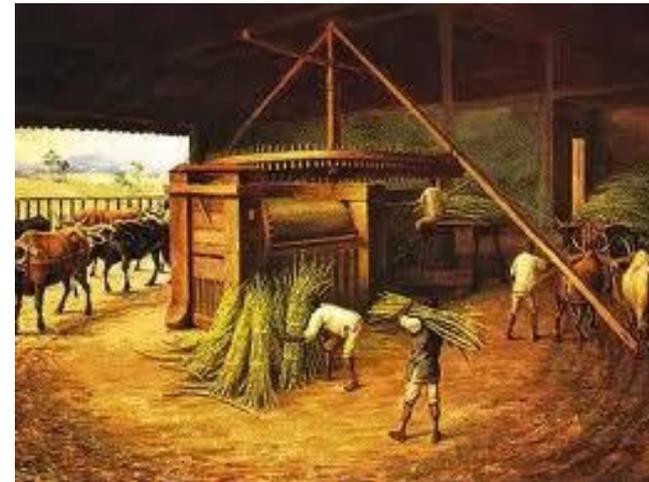
Formas de utilização

- Esforço tratório
 - Movimento retilíneo
 - Movimento circular

Atafona

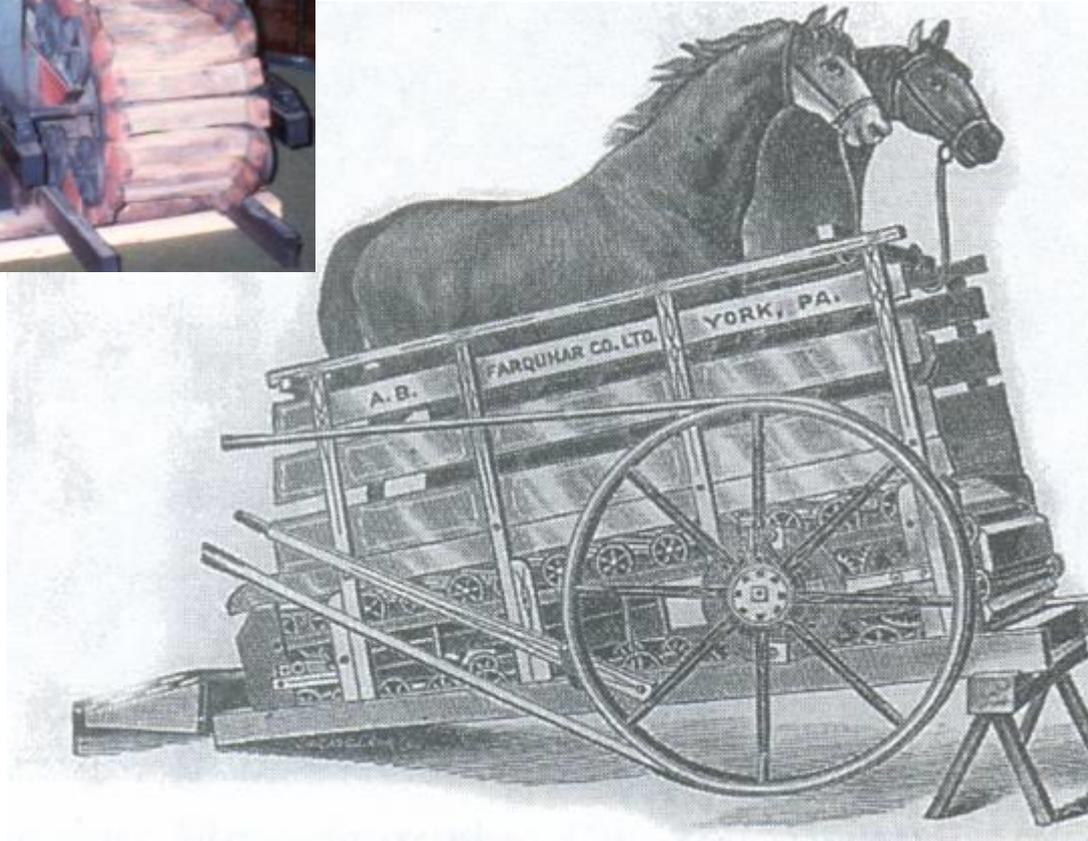


Mialhe, 1980





Esteira



Formas de utilização

- Esforço tratório
 - Movimento retilíneo
 - Movimento circular
- Transporte de carga no dorso
 - ... onde o desempenho é influenciado por:
 - Raça
 - Espécie
 - Peso vivo
 - Velocidade de trabalho
 - Alimentação
 - Forma de atrelamento
 - Jornada
 - Ambiente





Características dos animais de tração

- **BOVINOS**

- Grande disseminação no meio rural
- Aproveitamento após a vida útil
- Maior capacidade de tração
- Menor velocidade
- Menor resistência
- Maior necessidade de alimentação

- **MUARES**

- Vida mais longa
- Mais resistentes
- Consomem menos alimentos
- Dóceis no manejo
- Mais leves e portanto menor força de tração

- **EQUINOS**

- Maior velocidade de trabalho
- Capacidade de vencer sobrecargas momentâneas
- Fácil manejo
- Custo de aquisição mais elevado

Capacidade de trabalho

- Alguns parâmetros para tração

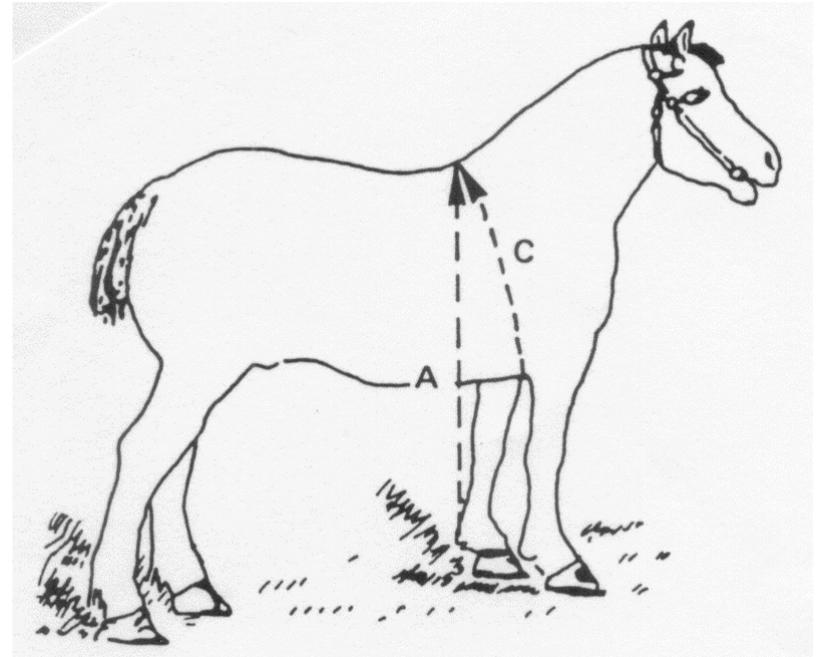
- Índice anamorfósico

$$I = \frac{C^2}{A}$$

C – perímetro torácico

A – altura da cernelha

- $I > 2,116$ – animal apto à tração
- $I < 2,116$ – animal apto à velocidade





- Capacidade de trabalho

- passo do animal = $\frac{3}{4} \cdot A$ (deslocamento)

- esforço tratório = $30 \cdot I$ (força)

- trabalho por passo ($F \times d$) = $30 \cdot I \cdot \frac{3}{4} A$
= $22,5 \cdot I \cdot A$ (kgfm)

- Força vs peso vivo

- força = 1/8 a 1/10 p.v. (eqüinos e muares – 0,8 a 1,0 m/s)

- Trabalho vs peso vivo

- $W = 3200$ a 3600 p.v. (kgfm/dia)

Estimando a capacidade de trabalho de uma animal (exemplo):

- Cavalo Bretão

- Peso vivo – 600 kg
- C – 2,3 m
- A – 1,85 m

$$I = \frac{2,30^2}{1,85} = 2,859$$

$$W = 30 \cdot I \cdot \frac{3}{4} A = 30 \cdot 2,859 \cdot 0,75 \cdot 1,85 = 119 \text{ kgfm/passo}$$

$$W = 3200 \cdot pv = 3200 \cdot 600 = 1920000 \text{ kgfm/dia}$$

$$N^{\circ} \text{ passos} = \frac{W_{\text{dia}}}{W_{\text{passo}}} = \frac{1920000 \text{ kgfm/dia}}{119 \text{ kgfm/passo}} = 16134 \text{ passos/dia}$$

1 passo = $\frac{3}{4} \cdot A = 1,3875\text{m}$

portanto: $d = 1,3875\text{m} \cdot 16134 \text{ passos/dia} = 22386\text{m/dia}$

Velocidade (v): 1 passo – 1s
1 passo – 1,3875m
 $v = 1,3875\text{m/s} = 4995 \text{ m/h}$



Jornada:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{22386\text{m} / \text{dia}}{4995\text{m} / \text{h}} = 4,48\text{h} / \text{dia}$$

Potência:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1920000\text{kgfm} / \text{dia}}{4,48\text{h} / \text{dia} \cdot 3600\text{s} / \text{h}} = 119\text{kgfm} / \text{s} \cdot 9,8\text{N} / \text{kgf} = 1166\text{w}(1,6\text{cv})$$

Desempenho comparativo – capacidade de trabalho em tração

Raça	peso parelha (kg)	força de tração (kgf)	potência (cv)	força/pv
Europeus (Conti, 1942)				
Percheron	1644	1041	21,2	0,63
Belga	1333	951	14,7	0,71
Brasileiros (DEMA-SP, 1958)				
Equino mestiço Bretão	1080	208	4,2	0,19
Muar mestiço Bretão	830	195	3,0	0,23
Muar nacional	700	138	3,5	0,26
Boi Caracú	1130	215	4,0	0,19

Transporte de carga no dorso

Fluxo de transporte

$$Ft = \frac{(c \ d)}{t}$$

c = carga transportada em cada ciclo (t)

d = distância total do ciclo (km)

t = tempo total do ciclo - carregamento, ida, descarregamento, volta (h)

Ex.: 0,25 t km/h

Cargas no dorço (Mialhe, 1974)

Animal	peso vivo (%)	distância (km/dia)
equinos	45-50	25-30
muares	55-60	30-45
asininos	60-65	35-40

Vantagens e desvantagens da tração animal

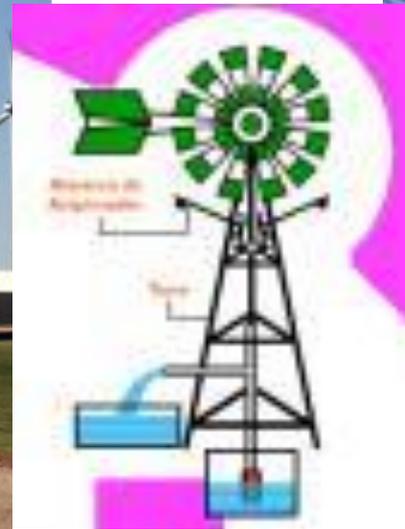
- Vantagens

- Grande reserva de potência para sobrecargas temporárias
- Alimentação obtida na propriedade
- Adapta-se a todo tipo de trabalho que exige tração
- Boa tração em solos úmidos e soltos
- O total da potência está distribuído em vários animais
- Pode ser produzido na propriedade
- Potência a preço relativamente baixo

- Desvantagens

- Requer alimentação quando não trabalha
- Utiliza terra produtiva para pasto
- Trabalha curtos períodos com cargas pesadas
- Exige períodos freqüentes de recuperação
- Velocidade de trabalho limitada
- Pouca eficiência para acionar máquinas estacionárias

Energia Eólica



Leitura obrigatória

- MIALHE, L.G. Máquinas motoras na agricultura. EDUSP, São Paulo, 1980. Cap 3, v.1
- ROSTAND, R. Força do vento. Cultivar Máquinas, p. 20-22, julho/agosto, 2001. (site do LEB)
- OLIVEIRA, C.M. Energia renovável.
(<http://pt.calameo.com/read/00020096870b93510ec6c>)

Motores eólicos

- Introdução
 - Uso limitado
 - Aplicações tradicionais em recalque de água e geração de energia elétrica
 - Recentemente surgiram motores de grande porte para geração de energia elétrica para fins comerciais
- Tipos de motores
 - Árvore vertical
 - Árvore horizontal
 - Hélice
 - Pás



Árvore
vertical
(Savonius)



Árvore
horizontal
de pás

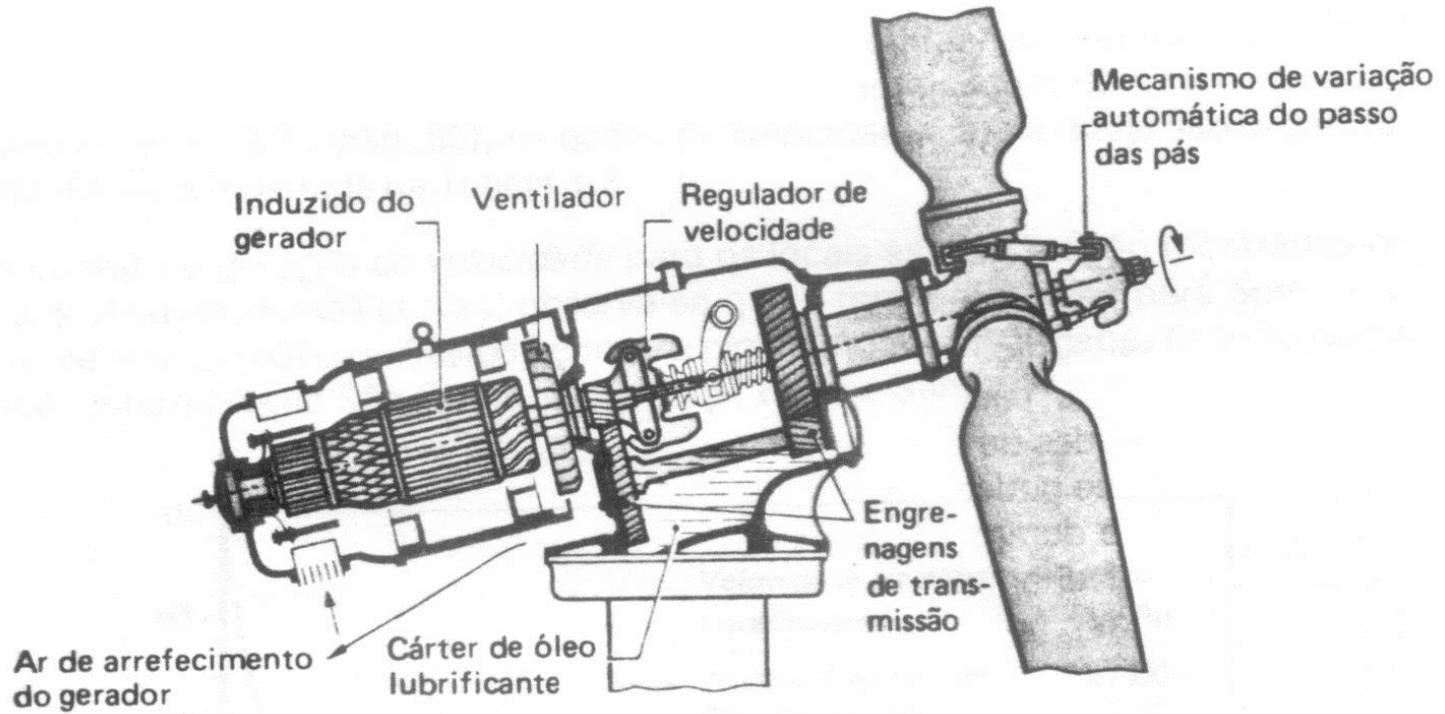


Árvore horizontal de hélice

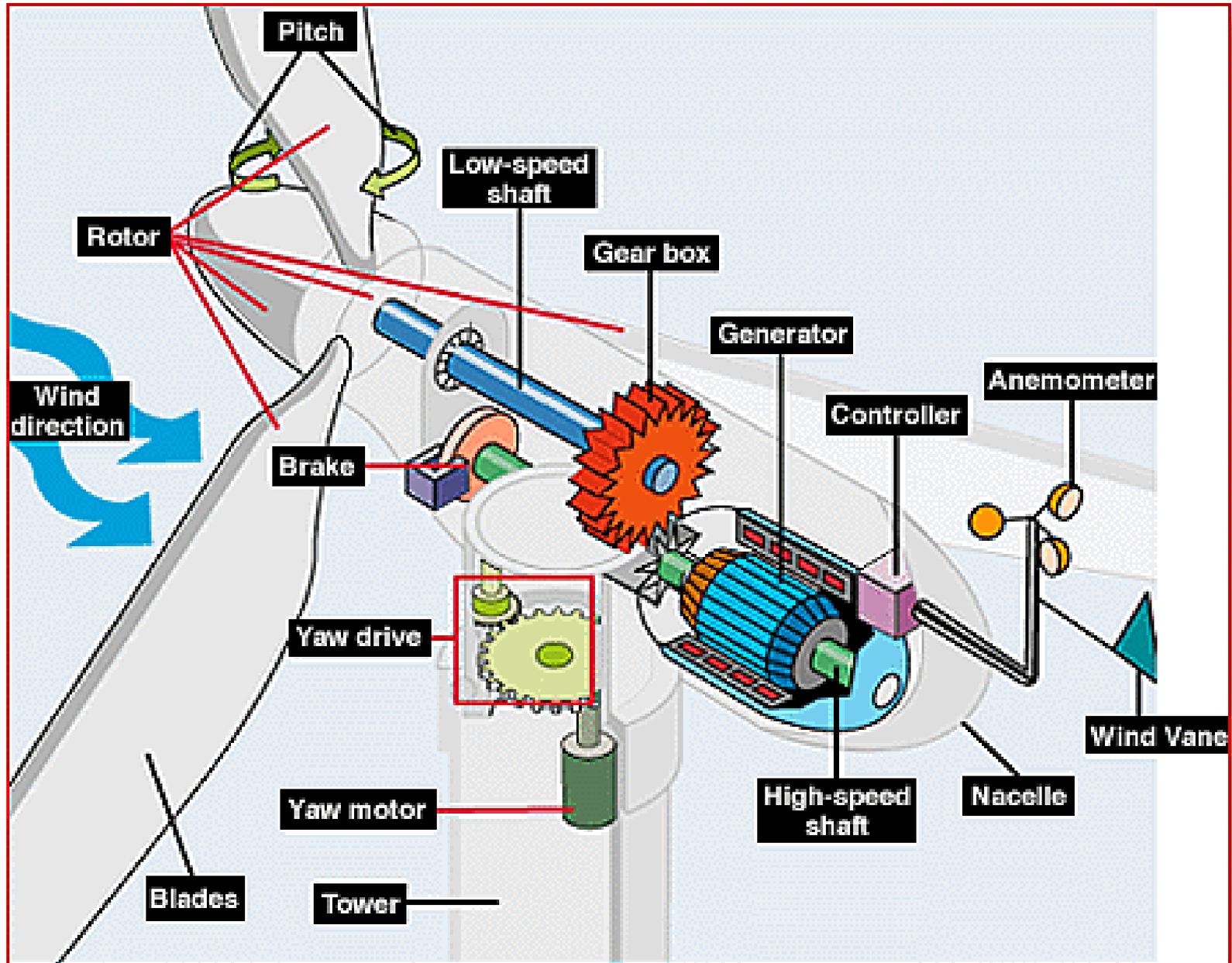




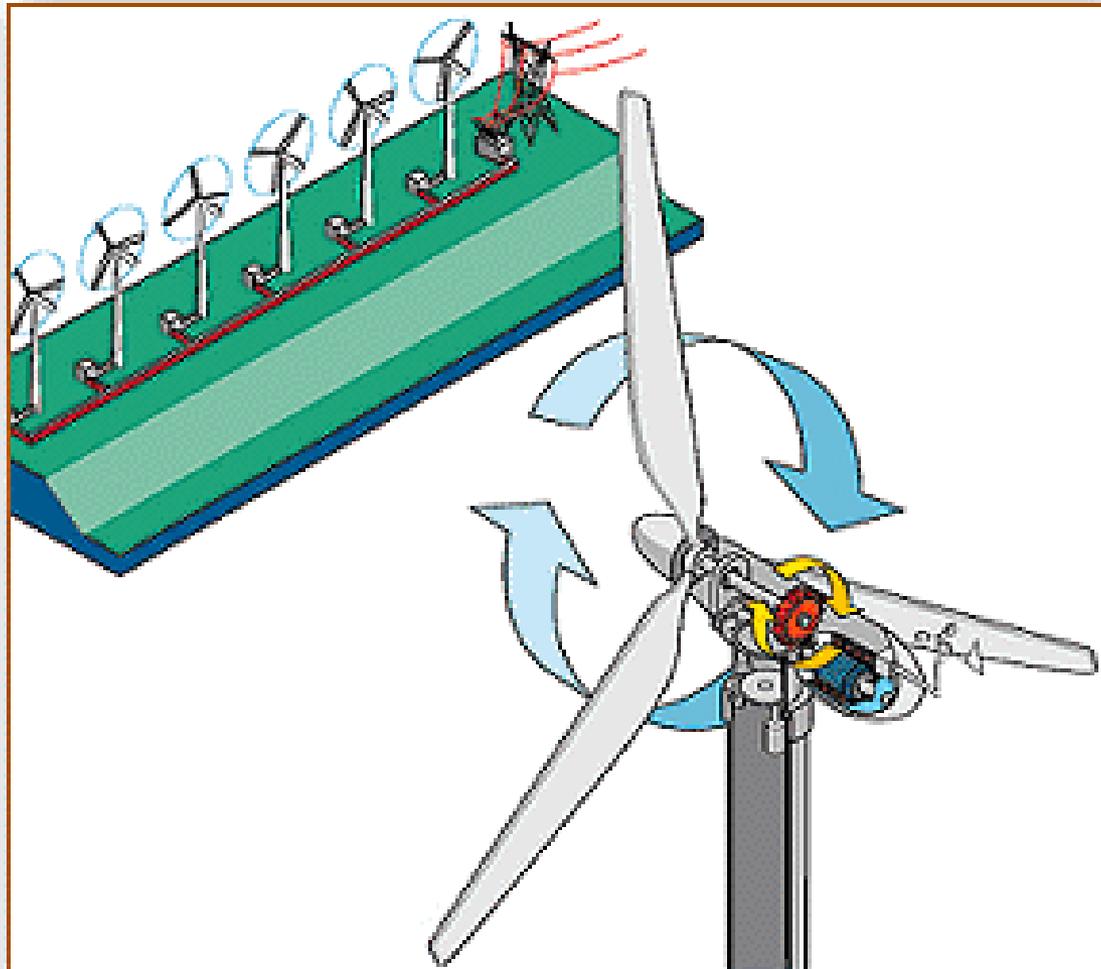
Esquema de um motor eólico para geração de energia elétrica



Esquema de um motor eólico para geração de energia elétrica moderno



Motor eólico para geração de energia elétrica



Agrishow 2012

Equipamento para
bombeamento de água



Princípio de funcionamento

Vento:

$$e_c = \frac{m.v^2}{2}$$

$$m = \delta.A.v$$

Potência eólica:

$$Pe = K.A.v^3$$

(P (kw) A (m²) v (m/s) K=0,000645)

- Coeficiente de potência máxima (C_p)
 - % de P_e aproveitada pelos motores eólicos
 - $C_p = 0,3$ a $0,4$
- Potência disponível
 - $P = C_p \cdot P_e = C_p \cdot K \cdot A \cdot V^3$
- Velocidade do vento vs diâmetro da roda vs velocidade angular (ω)
 - Relação ótima para a máxima energia captada
 - Para motores de pás e árvore horizontal

$$\omega R/v = 0,9$$

- Exemplo
- Motor eólico de pás e árvore horizontal
- $C_p - 0,3$
- Diâmetro (\emptyset) – 4,2m
- $v - 6,2\text{m/s}$
- $A = \pi\emptyset^2/4 = 13,85\text{m}^2$
- $P_e = 0,000645 \cdot 13,85\text{m}^2 \cdot (6,2\text{m/s})^3 = 2,13 \text{ kW}$
- $P = 0,3 P_e = 0,64 \text{ kW}$
- Velocidade do rotor

$$\omega R/v = 0,9$$

$$\omega = 2 \pi N \rightarrow 2 \pi N R/v = 0,9 \rightarrow N = 0,9 v/ 2 \pi R$$

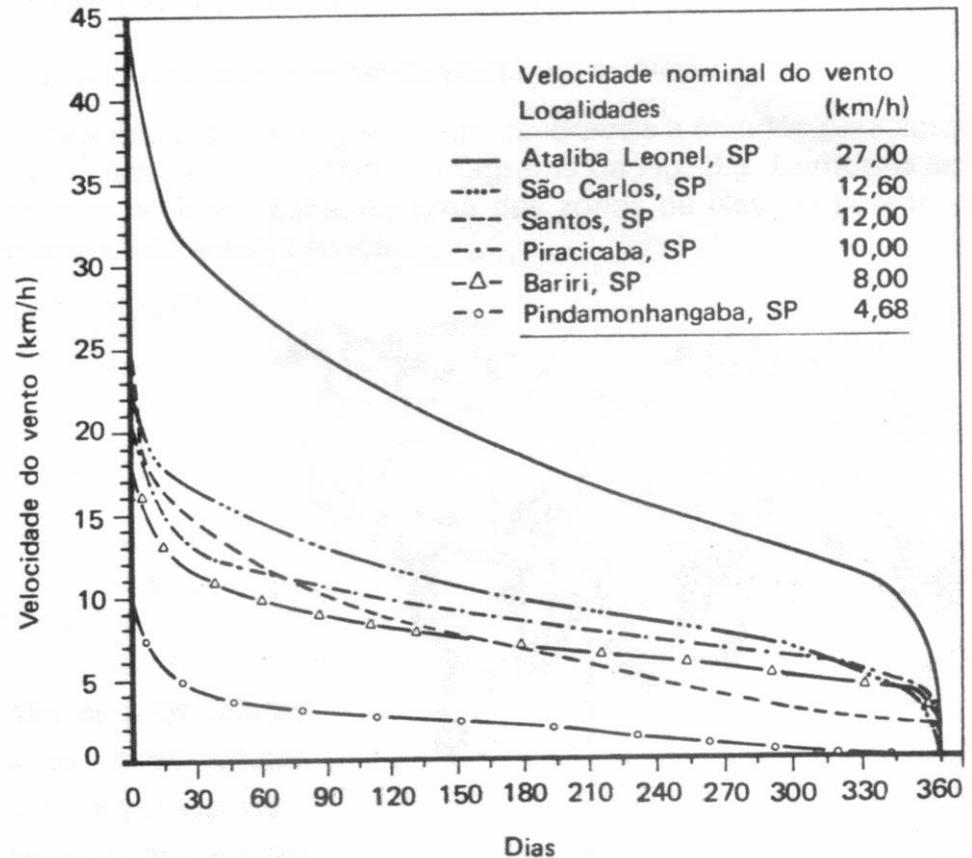
$$N = 6,2 \cdot 0,9/ 2 \pi \cdot 2,1 = 0,423 \text{ Hz}$$

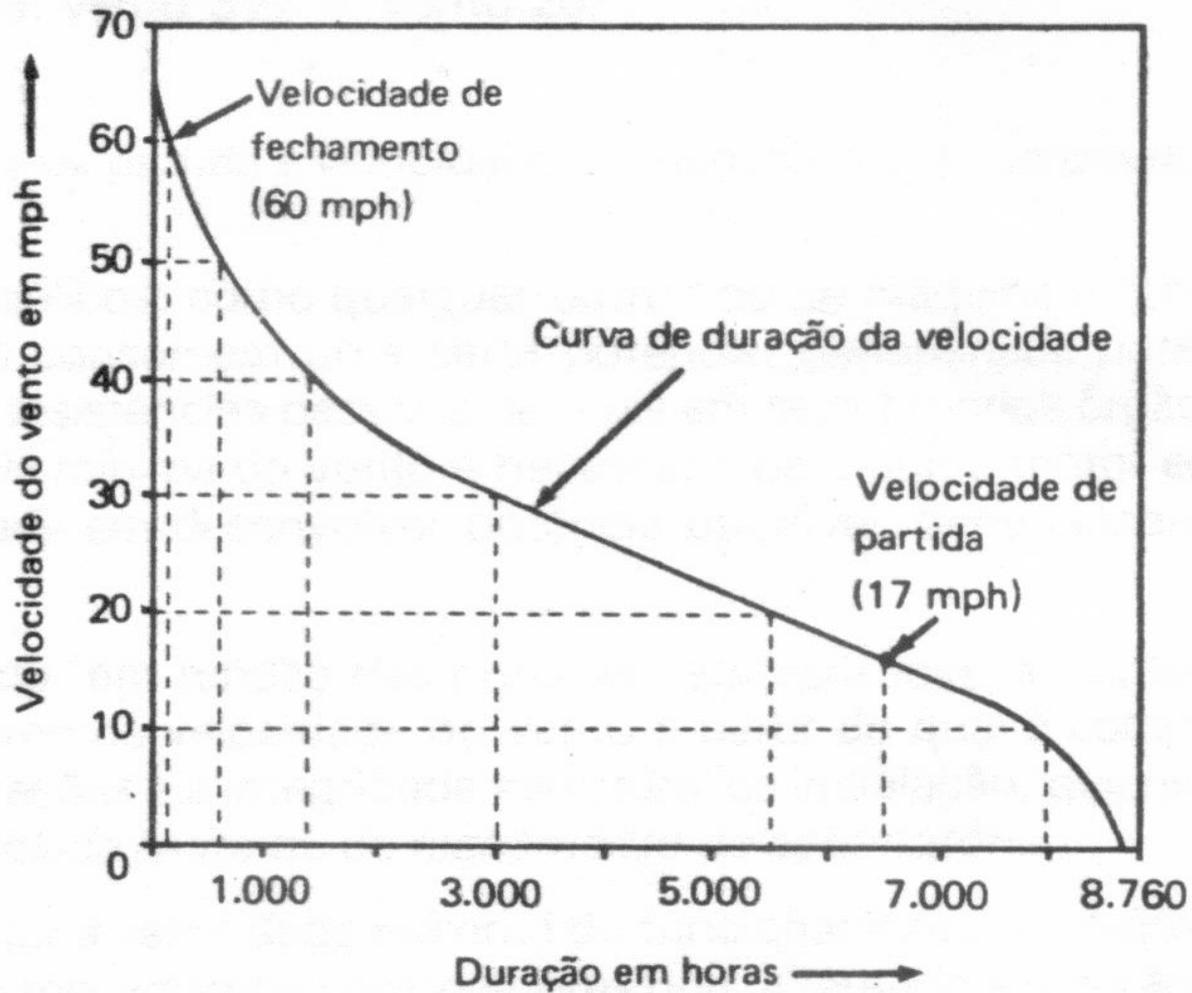
- Torque

$$T = P/ 2 \pi N = 640/ 2 \pi \cdot 0,423 = 240,9 \text{ Nm}$$

Características do vento

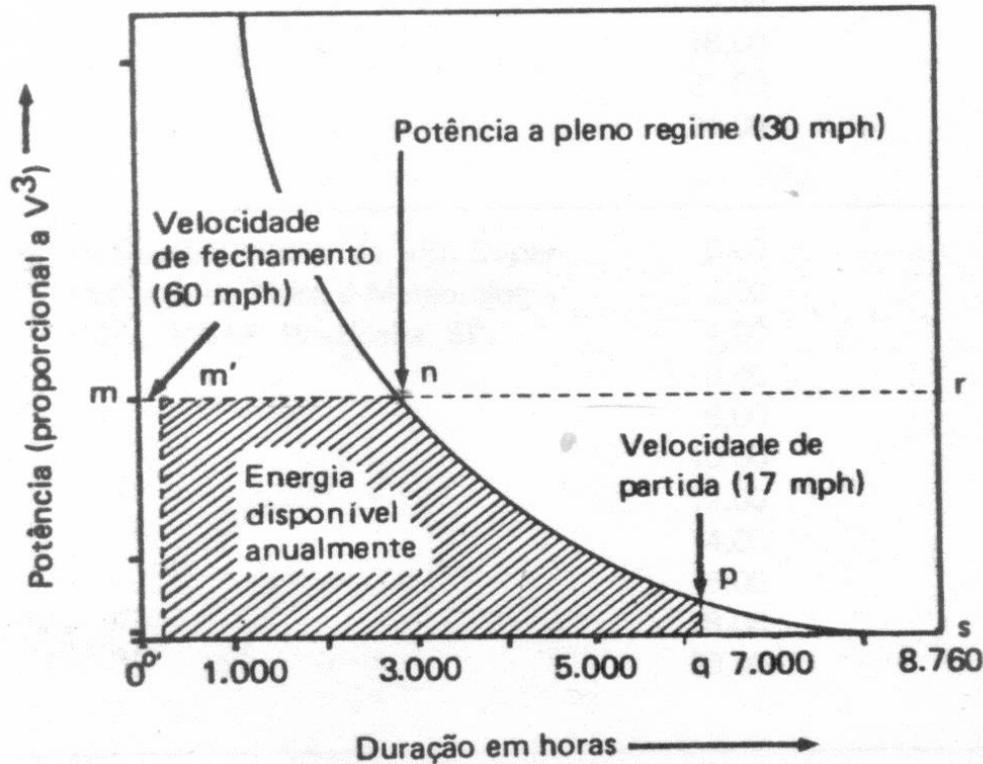
- Velocidade varia com o tempo
- É necessário histórico horário e na cota útil
- Obter curvas de velocidade do vento acumulada no ano em horas ou dias





Curva de duração da velocidade do vento e velocidades de partida e de fechamento para um dado motor eólico

Gráfico de duração da potência



Área “o-m-r-s” → energia obtida se o motor operasse a pleno regime o ano todo

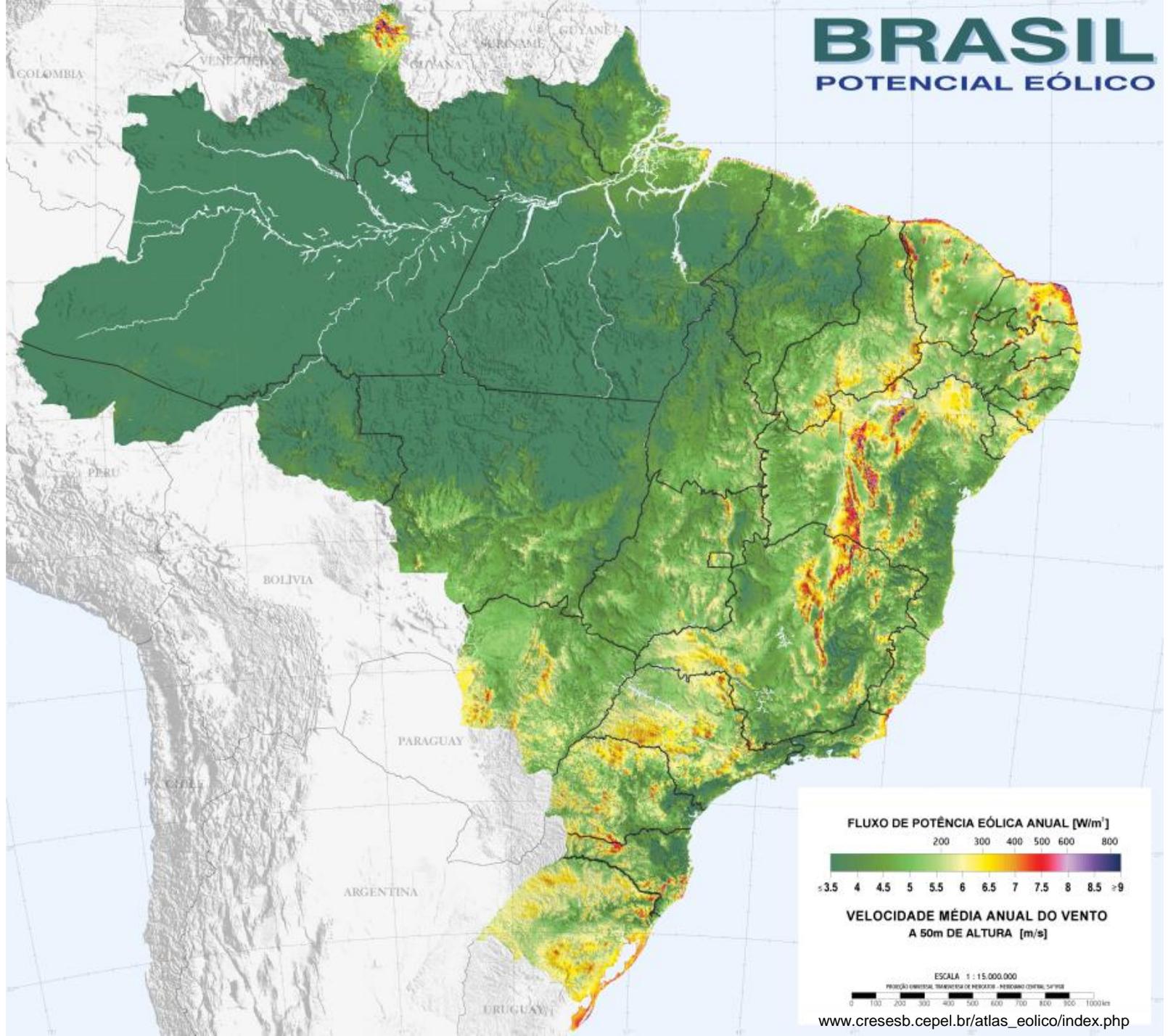
Área “o'-m'-n-p-q” → energia disponível – f(aeromotor, vento)

Fator anual de carga – $F_c = \text{“o'-m'-n-p-q”} / \text{“o-m-r-s”}$ (Kw/Kw)

Energia específica disponível – $T_s = F_c \cdot 8760 \text{ horas.ano}$ (Kwh/Kw.ano)

BRASIL

POTENCIAL EÓLICO



FLUXO DE POTÊNCIA EÓLICA ANUAL [W/m²]

200 300 400 500 600 800



3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 ≥9

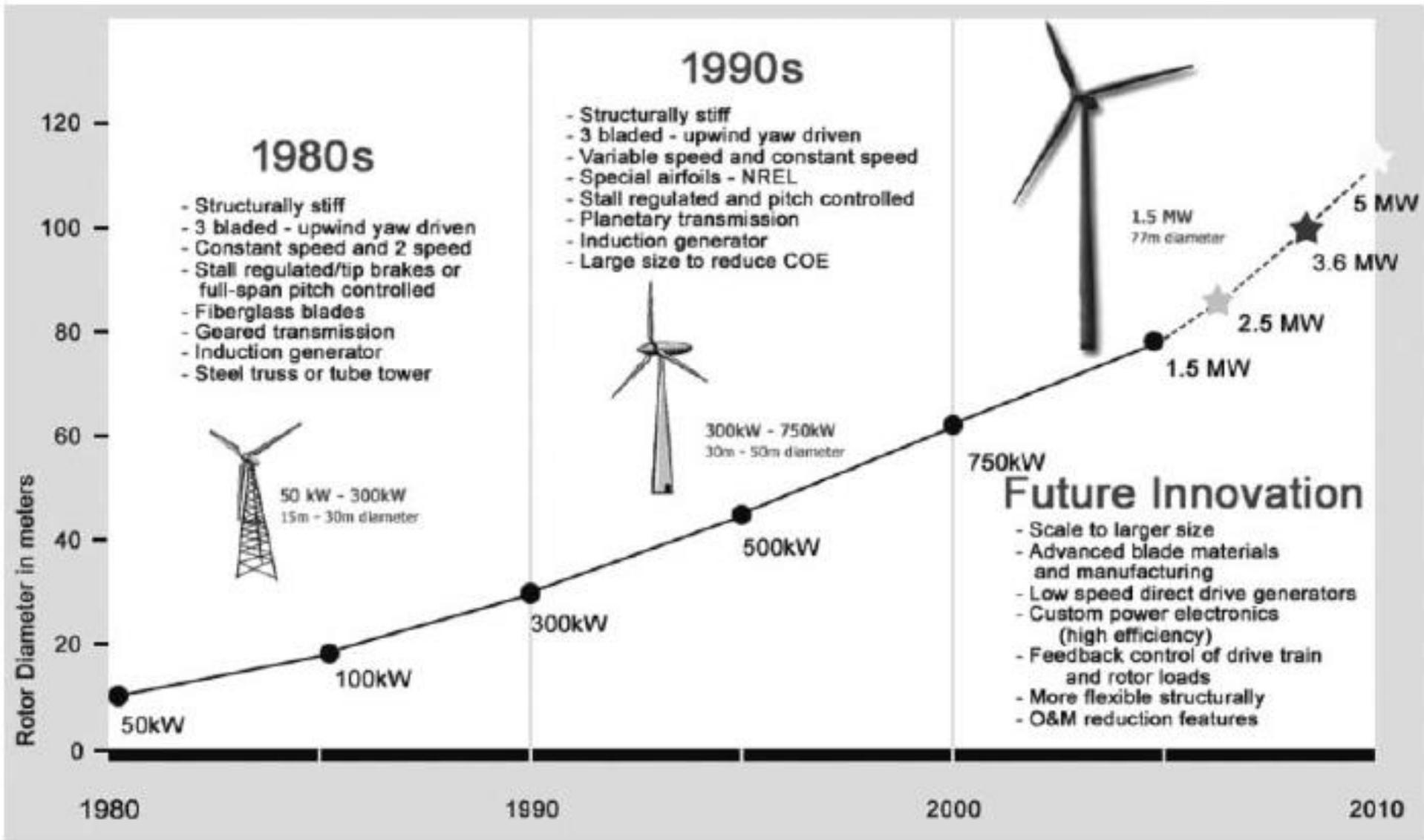
VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO

A 50m DE ALTURA [m/s]

ESCALA 1 : 15.000.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - PARALELO CENTRAL 54°W

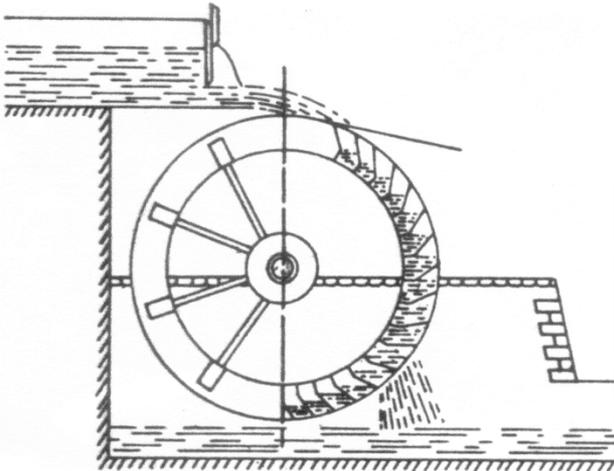




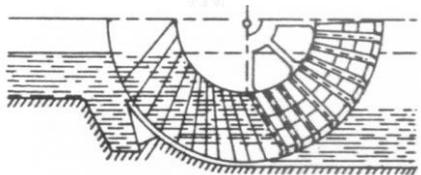
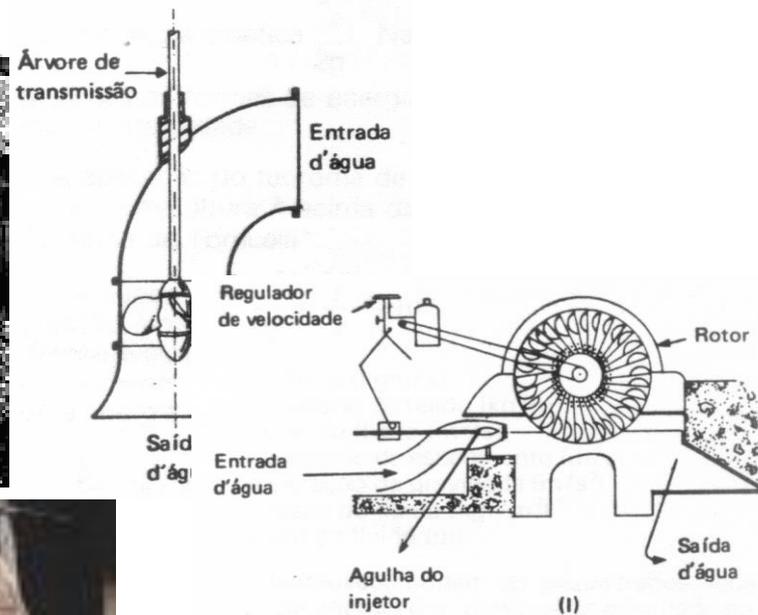
The development of wind turbines over time.

USA, ASABE, 3/2006

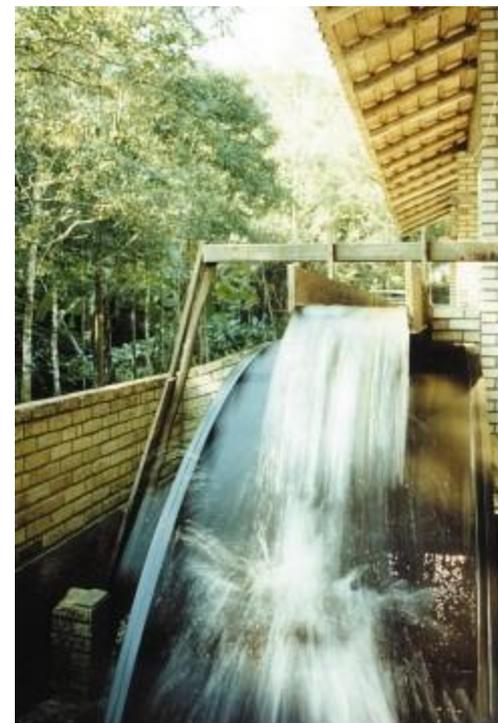
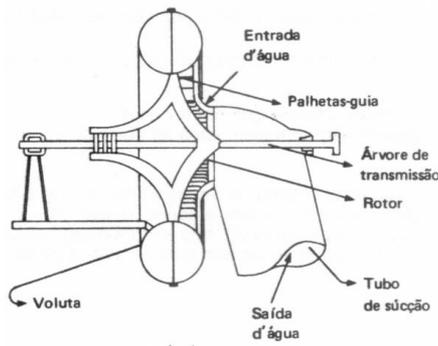
Energia Hidráulica



Roda-d' água de alcatruzes



Roda-d' água de pás



Leitura obrigatória

- MIALHE, L.G. Máquinas motoras na agricultura. EDUSP, São Paulo, 1980. Cap 4, v.1
- MIEHELS, A. e SQUINZANI, M. Energia da água. Cultivar Máquinas, p. 23-25, julho/agosto, 2001. (site do LEB)

Aplicações

- A energia hidráulica ao nível de fazenda se restringe a:
 - levante de água para abastecimento interno
 - rodas d'água para movimento rotativo (motor estacionário)

Introdução

Motores hidráulicos



Hidrodinâmica



Canais abertos



Quedas d'água



Energia potencial da água em movimento



Energia mecânica



Hidrostática



Circuitos fechados

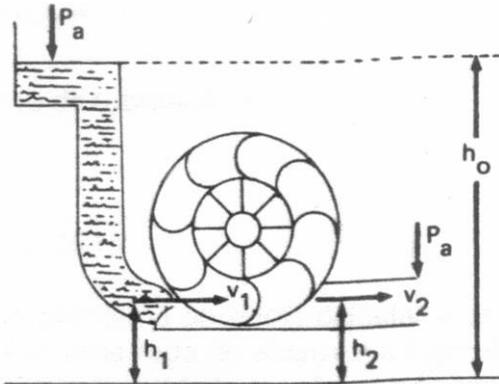


Sistemas óleo-hidráulicos

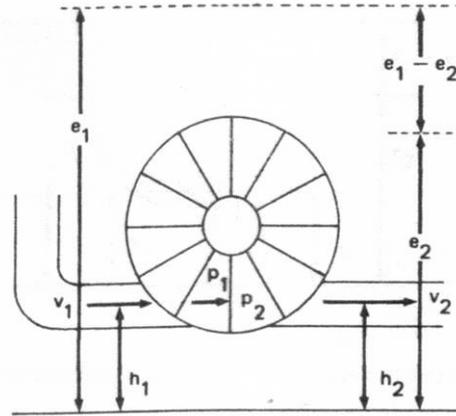
Teorema de Bernouille

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h = cte$$

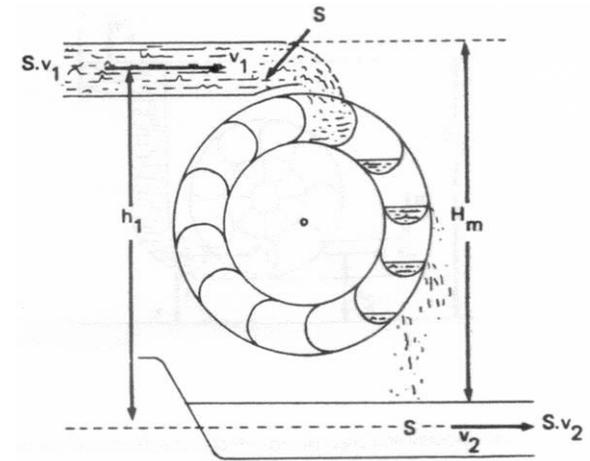
Componente Componente Componente
velocidade Pressão posição



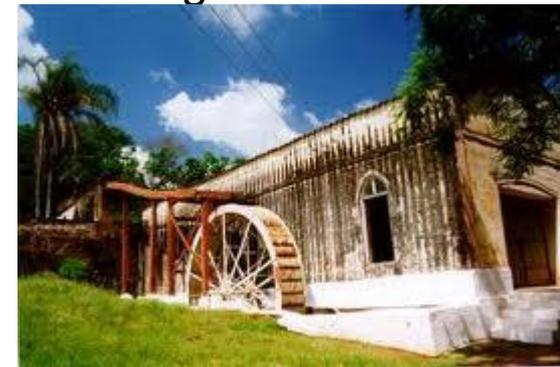
Motor hidráulico de velocidade



Motor hidráulico de pressão



Motor hidráulico de gravidade





Motores hidráulicos de gravidade

Agrishow 2012

Equipamento para bombeamento de água



Motores hidráulicos de gravidade

Motor hidráulico de velocidade

Agrishow 2012

Equipamento para bombeamento de água

Agrishow 2012



Equipamento para bombeamento de água

Motor hidráulico de velocidade, para superfície de curso d'água

Motor hidráulico de velocidade



Agrishow 2012

Equipamento para bombeamento de água

Teorema de Bernouille

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h = cte$$

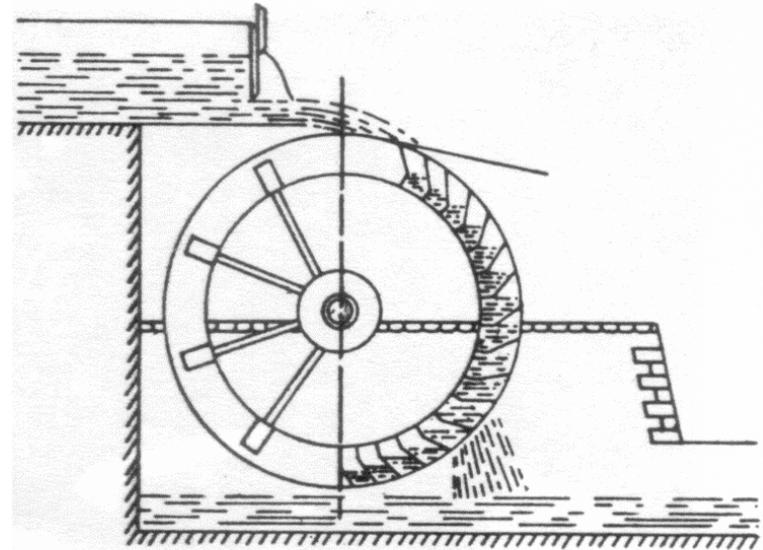
Componente Componente Componente
velocidade Pressão posição

Teorema de Torricelli

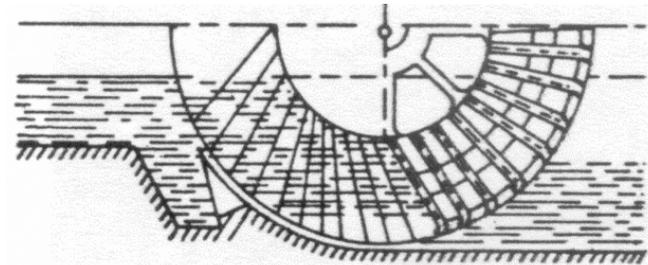
$$v = \sqrt{2gh}$$

Tipos de motores hidráulicos

- Roda d'água
 - alcatruzes
 - pás
 - curvas
 - retas



Roda-d' água de alcatruzes



Roda-d' água de pás

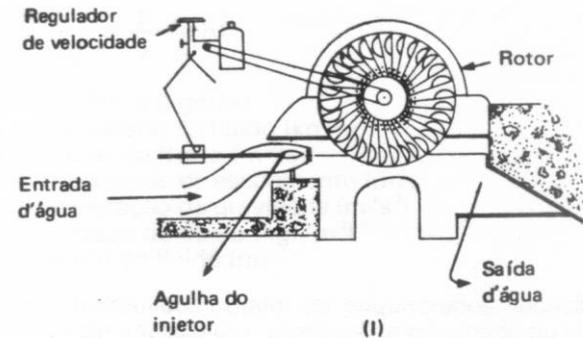
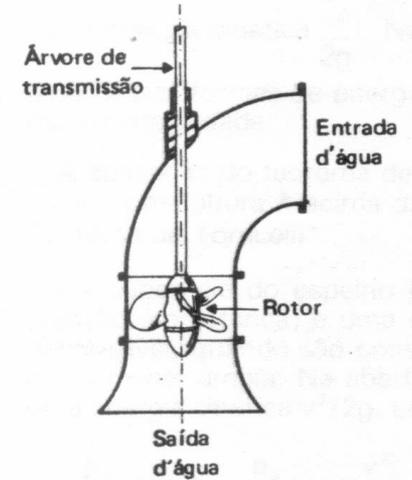
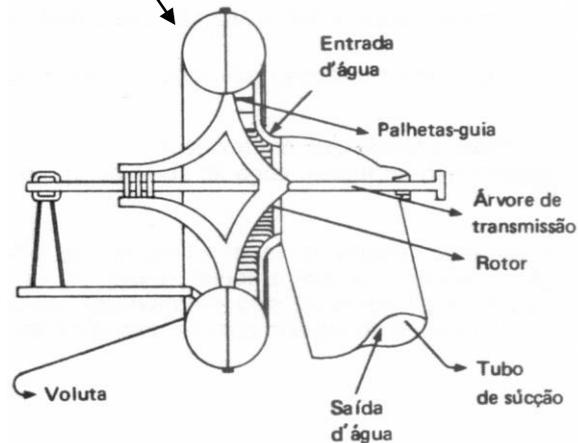
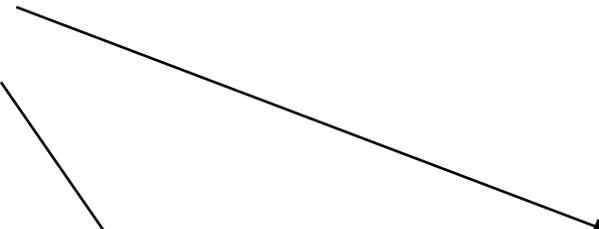
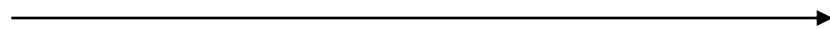
Tipos de motores hidráulicos

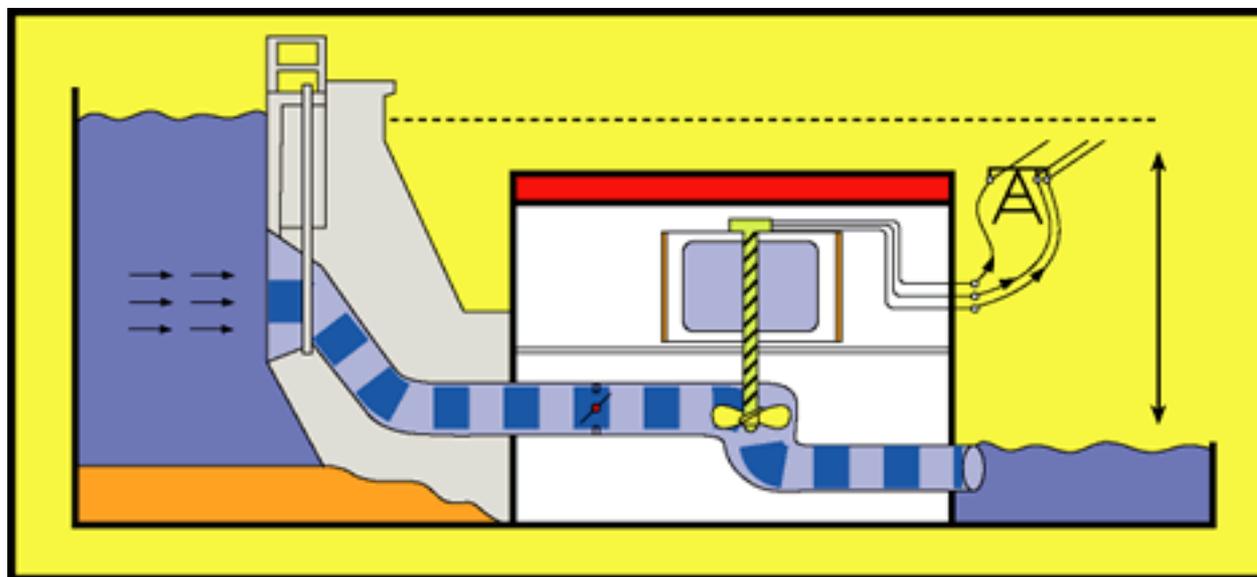
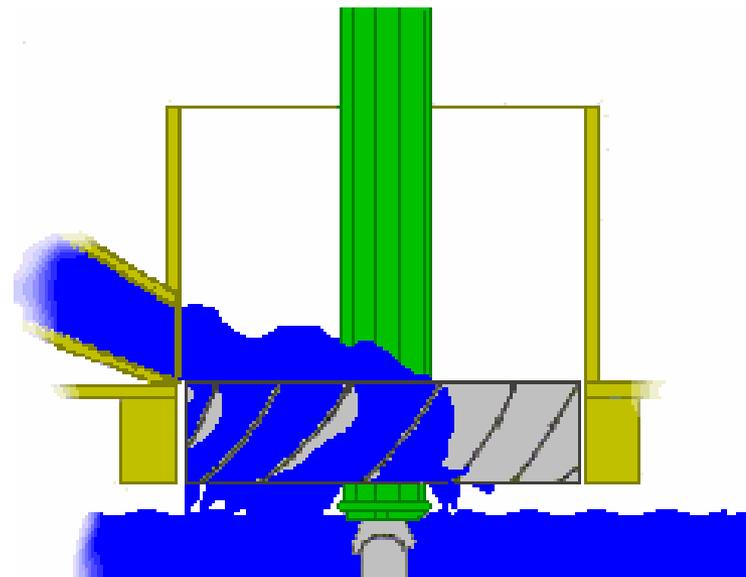
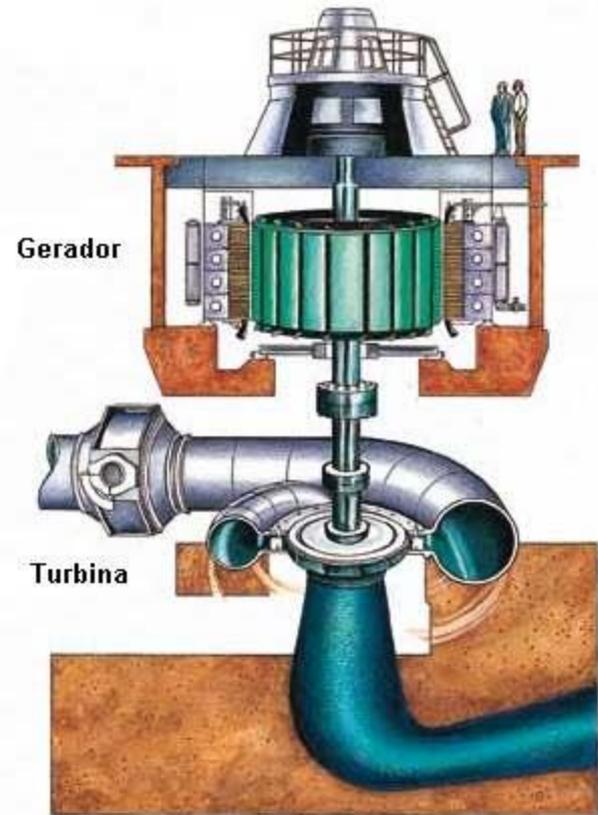
- Turbinas

- Francis

- Pelton

- Kaplan



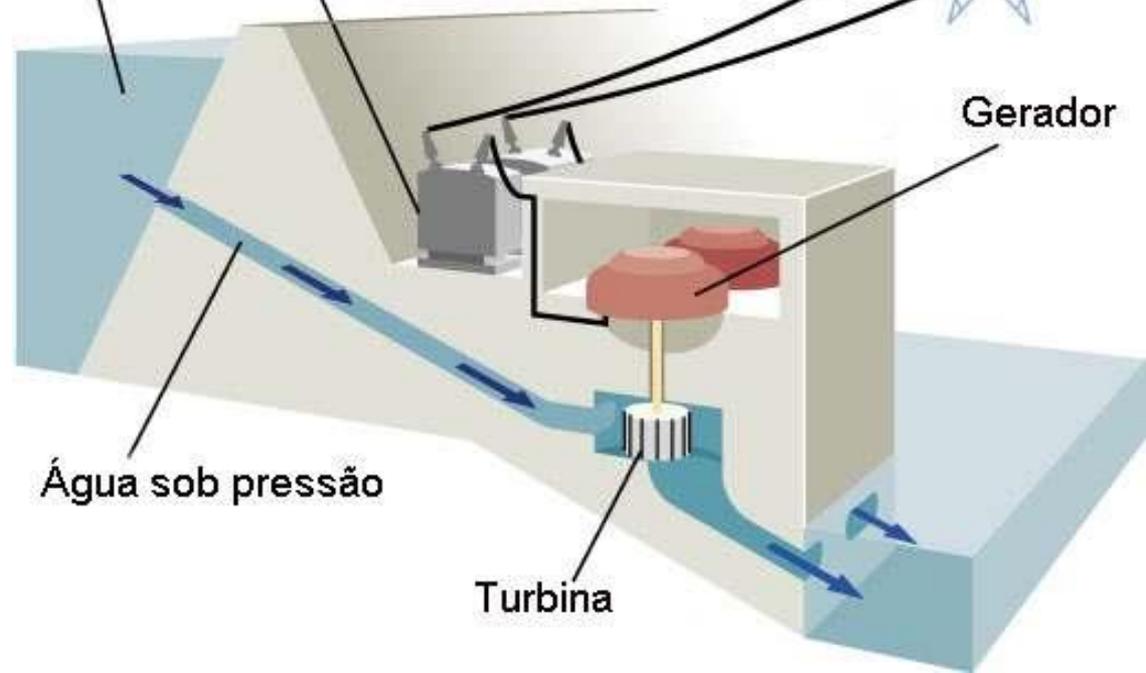




Reservatório

Linha de transmissão

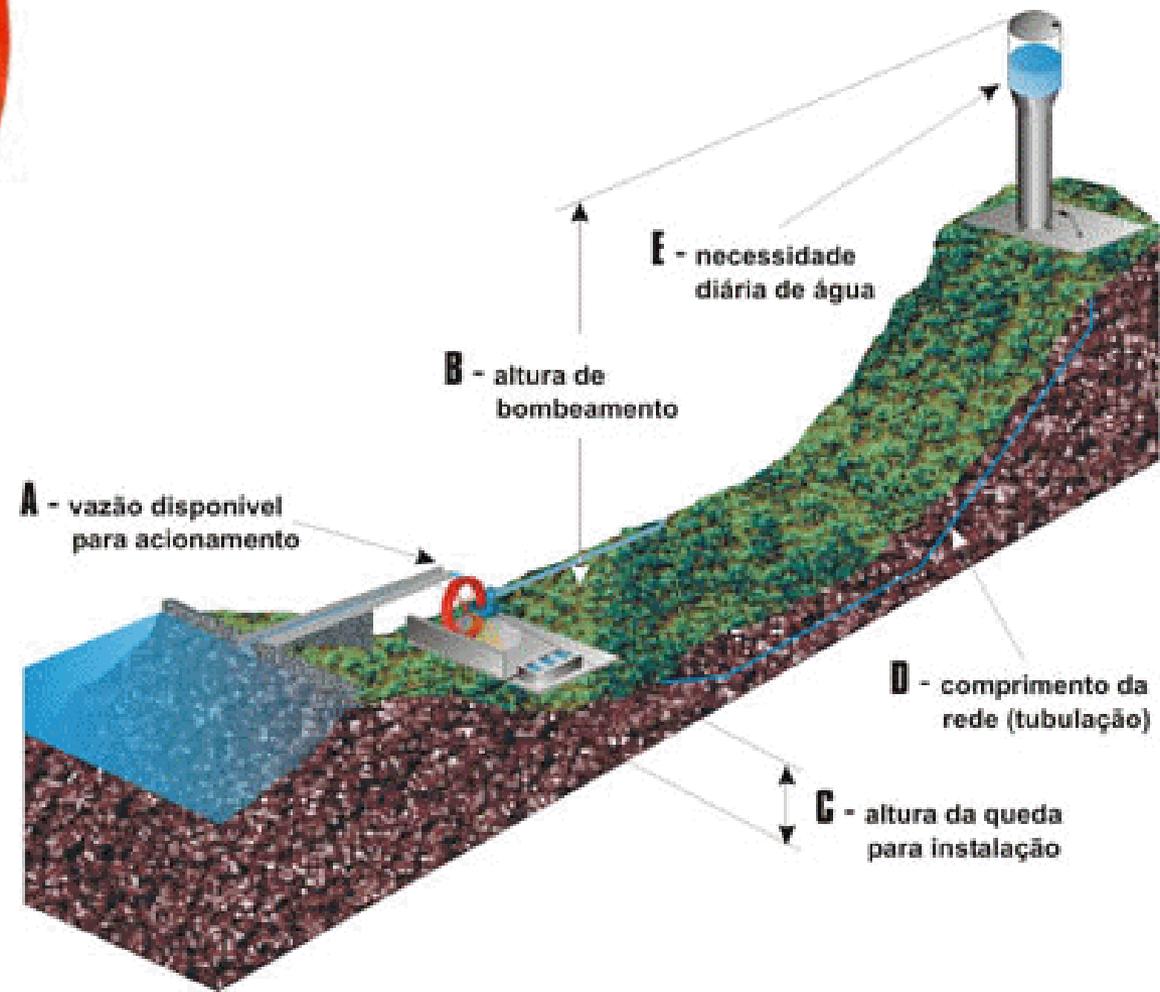
Transformador



Gerador

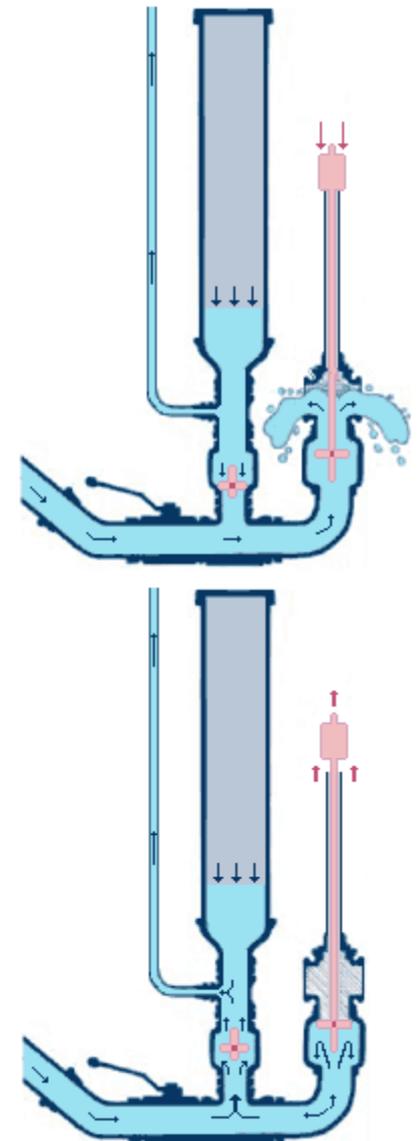
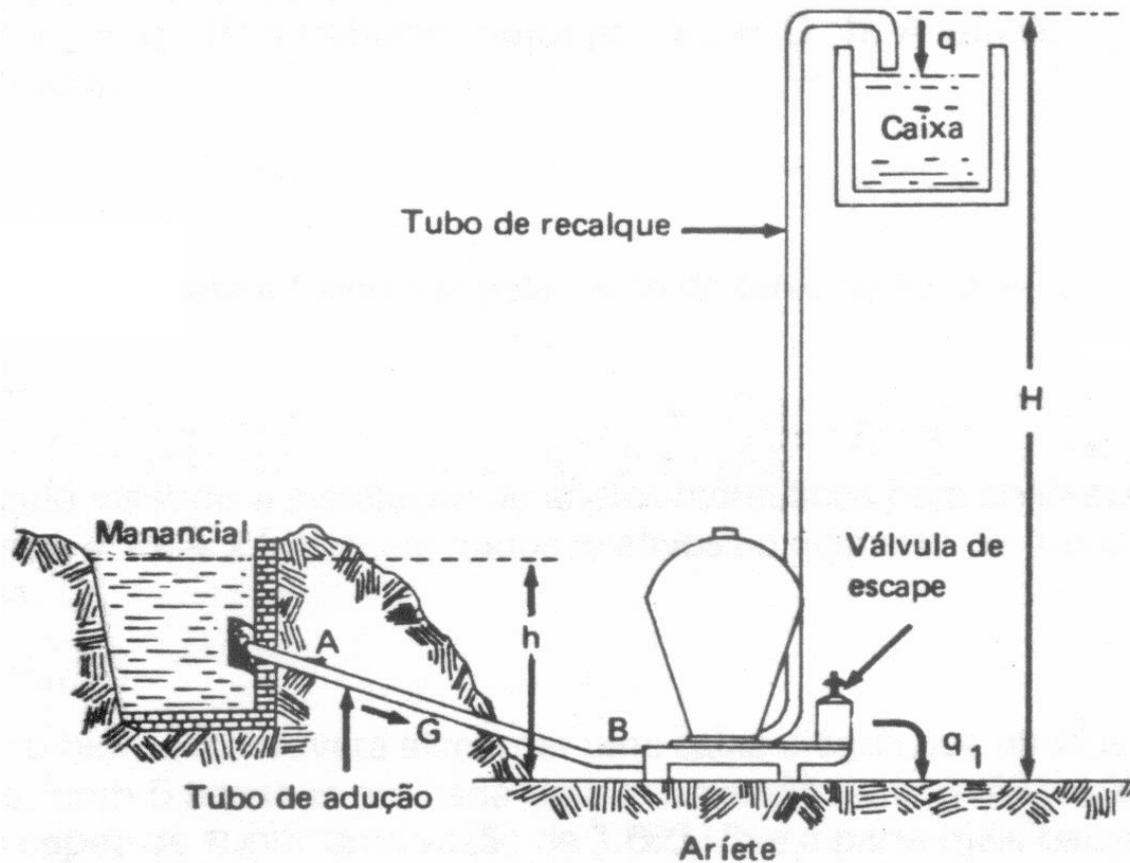
Água sob pressão

Turbina



Tipos de motores hidráulicos

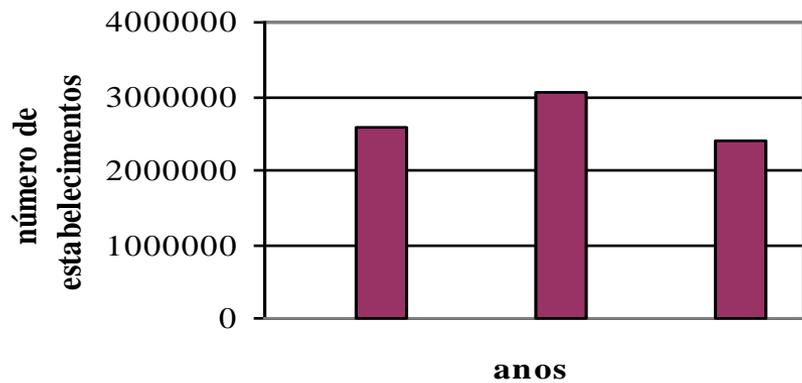
- Carneiro hidráulico (golpe de ariete)



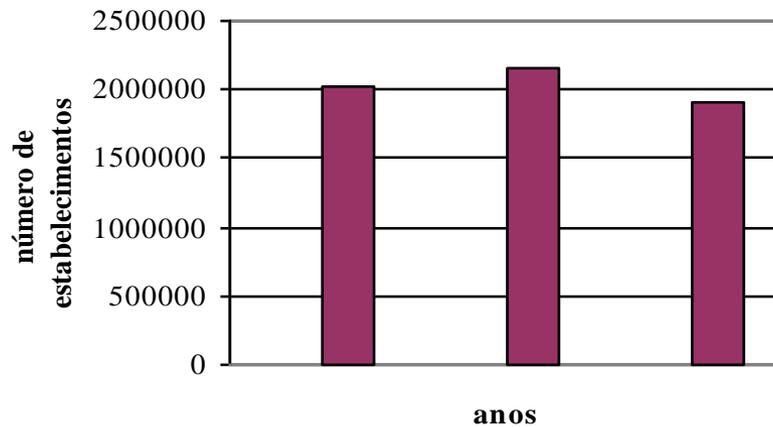
**PLANTÃO DE DÚVIDAS SOBRE A
LISTA DE EXERCÍCIOS DA ÚLTIMA
SEMANA: TERÇA, 12.03, 18:00,
NESTA SALA.**

FIM!

Comparação entre o número de estabelecimentos de até 10 hectares nos censos de 1980, 1985 e 1995, respectivamente

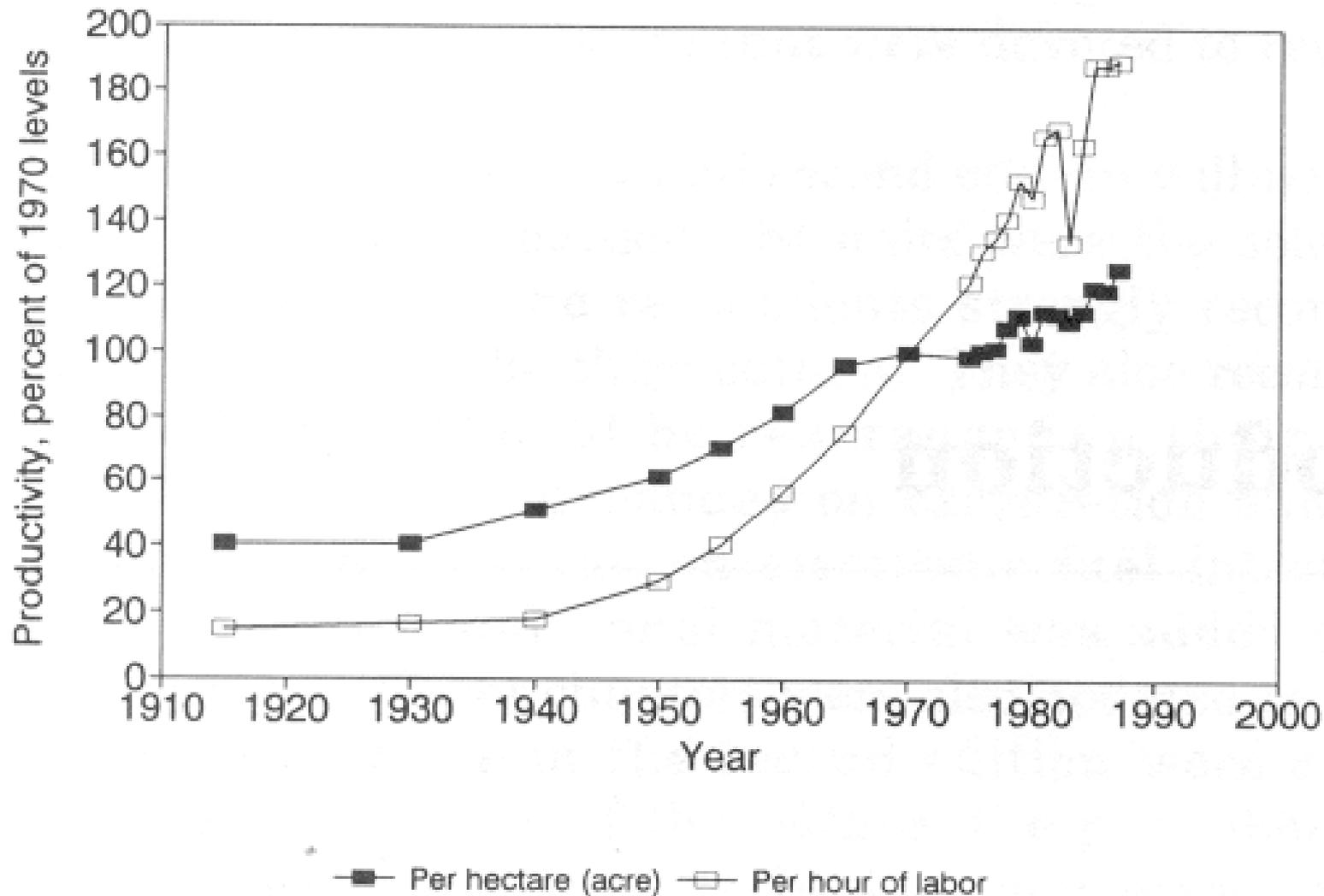


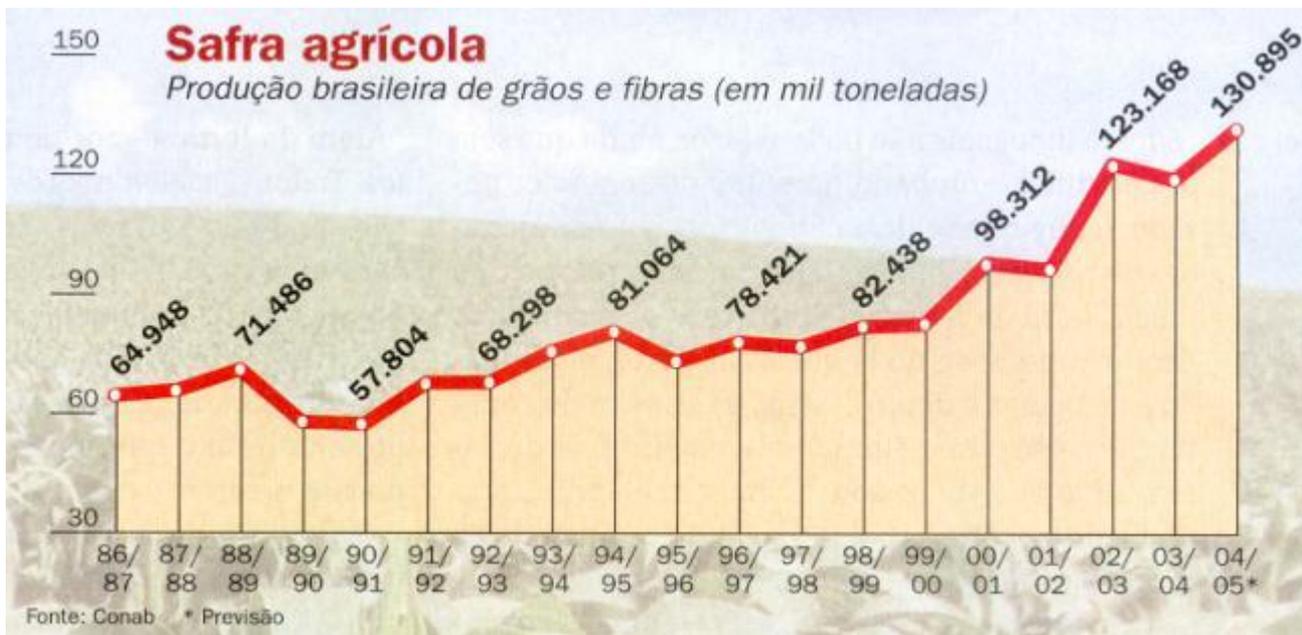
Comparação entre o número de estabelecimentos de 10 a 100 hectares nos anos 1980, 1985 e 1995, respectivamente



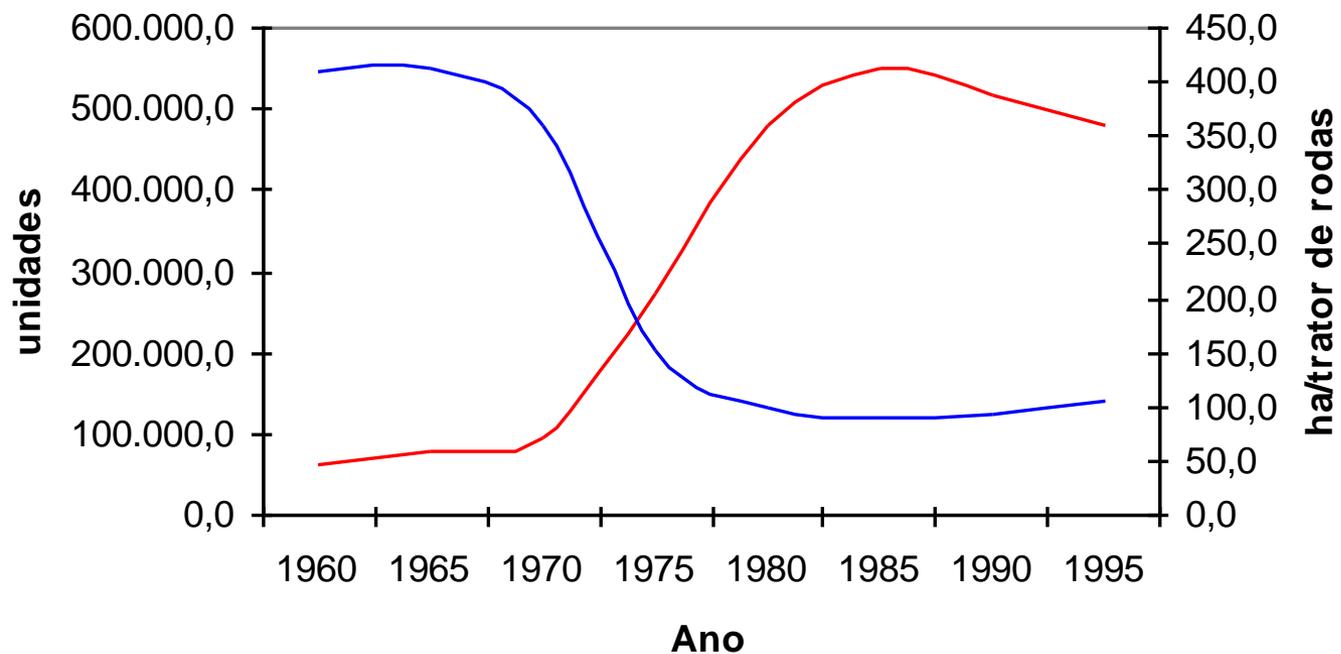
Agricultural Productivity

Base = 1970





Evolução do Índice de Mecanização e da Frota de Tratores de Rodas entre 1960 e 1995



— Frota de Tratores de Rodas — Índice de Mecanização

Labor needed per acre of corn

1850 32 hours

1890 15 hours

Percent of U.S. Workers in Agriculture

1800 90%

1950 11%

1870 47%

1990 2%

Não confundir
“tração animal” ...



... com atração animal!

