



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BAURU  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
Departamento de Engenharia Mecânica**

**APOSTILA DE  
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BAURU  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
Departamento de Engenharia Mecânica**

# **APOSTILA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

**Prof. Dr. Abílio Garcia dos Santos Filho**

**Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti Garcia dos Santos**

**Colaboração:**

**Jefferson Roberto de Freitas**

**Ricardo Bussab Abou Mourad**

**Bauru - Agosto/2001**

# SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1. Conceituação e Normalização das Máquinas Agrícolas .....	1
1.2. Classificação das Máquinas Agrícolas .....	1
2. Tratores Agrícolas.....	4
2.1. Funções Básicas.....	4
2.2. Constituição.....	6
2.3. Classificação Geral.....	8
2.3.1. Tipo de Rodado .....	8
2.3.2. Tipo de Chassi .....	10
3. Ensaio de Tratores .....	12
3.1. Objetivos .....	12
3.2. Ensaio na Tomada de Potência (TDP).....	12
3.3. Ensaio na Barra de Tração (BT).....	18
3.4. Determinação do Centro de Gravidade dos Tratores Agrícolas.....	30
3.5. Regra do Fator 0,86.....	39
4. Preparo Inicial do Solo .....	42
4.1. Fatores Levados em Consideração .....	42
4.2. Tipos de Equipamentos Responsáveis pelo Desbravamento.....	42
4.3. Tipos de Equipamentos Responsáveis pela Destoca.....	45
4.3. Levantamento Densométrico e Determinação do Desempenho Operacional .	46
5. Preparo Periódico do Solo .....	51
5.1. Arados.....	51
5.1.1. Arados de Aivecas.....	51
5.1.2. Arados de Discos.....	53
5.1.3. Fatores que Influem na Penetração dos Discos no Solo.....	55
5.2. Grades.....	56
5.3. Subsoladores.....	59
5.3.1. Métodos de Avaliação da Camada Compactada .....	61
5.3.2. Produção Horária.....	64

	II
6. Máquinas para Semeadura .....	70
6.1. Classificação das Semeadoras .....	70
6.2. Fatores que Afetam a Semeadura .....	73
6.3. Constituição das Semeadoras .....	73
6.4. Cálculo Utilizado para Semadura .....	74
7. Máquinas para Colheita .....	78
7.1. Classificação das Colhedoras .....	78
7.2. Colhedoras de Cereais .....	78
8. Pulverizadores .....	81
8.1. Tipos de Pulverizadores .....	81
8.2. Formas de Aplicação do Produto .....	82
8.3. Dimensionamento dos Pulverizadores .....	82
Bibliografia .....	83
Anexos .....	84

## 1. Introdução

### 1.1. Conceituação e Normalização das Máquinas Agrícolas

Abaixo segue algumas terminologias segundo a ABNT - NB-66.

Operação Agrícola: Toda atividade direta e permanentemente relacionada com a execução do trabalho de produção agropecuária.

Máquinas Agrícolas: Máquina projetada especificamente para realizar integralmente ou coadjuvar a execução da operação agrícola.

Implemento Agrícola: Implemento ou sistema mecânico, com movimento próprio ou induzido, em sua forma mais simples, cujos órgãos componentes não apresentam movimentos relativos.

Ferramenta Agrícola: Implemento, em sua forma mais simples, o qual entra em contato direto com o material trabalhado, acionado por uma fonte de potência qualquer.

Máquina Combinada ou Conjugada: É uma máquina que possui, em sua estrutura básica, órgãos ativos que permitem realizar, simultaneamente ou não, várias operações agrícolas.

Acessórios: Órgãos mecânicos ou ativos que, acoplados à máquina agrícola ou implemento, permite tanto aprimoramento do desempenho como execução de operações diferentes para o qual foi projetado.

### 1.2. Classificação das Máquinas Agrícolas

As máquinas agrícolas são divididas em grupos, especificados na seqüência.

Grupo 1 - Máquinas para o preparo do solo

a.1) Máquinas para o *preparo inicial* do solo

São responsáveis pela limpeza do solo, ou seja, pela remoção de árvores, cipós e etc. Constituem-se de destocadores, serras, lâminas empurradoras, lâminas niveladoras, escavadeiras e perfuradoras.

a.2) Máquinas para o *preparo periódico* do solo

São responsáveis pela movimentação ou mobilização do solo (inversão de leiva). Constituem-se de arados de aivecas, arados de discos, subsoladores, enxadas rotativas, sulcadores, etc.

Grupo 2 - Máquinas para a semeadura, plantio e transplante

b.1) Semeadoras, plantadoras e transplantadoras

b.2) Cultivo mínimo ou plantio direto

a) Grupo 3 - Máquinas para a aplicação, carregamento e transporte de adubos e corretivos

c.1) Adubadoras e carretas

Grupo 4 - Máquinas para o cultivo, desbaste e poda

d.1) Cultivadores de enxadas rotativas, ceifadeiras e roçadoras

Grupo 5 - Máquinas aplicadoras de defensivos

e.1) Pulverizadores, polvilhadoras, microatomizadoras, atomizadoras e fumigadores

Grupo 6 - Máquinas para a colheita

f.1) Colhedoras ou colheitadoras

Grupo 7 - Máquinas para transporte, elevação e manuseio

g.1) Carroças, carretas e caminhões

Grupo 8 - Máquinas para o processamento

h.1) Máquinas beneficiadoras de café, milho, arroz, algodão e cana

h.2) Máquinas para o tratamento e polimento: secadoras, classificadoras e polidoras

Grupo 9 - Máquinas para a conservação do solo, água e irrigação e drenagem

i.1) Irrigação: motobombas e aspersores

i.2) Drenagem: retroescavadeiras e valetadeiras

Grupo 10 - Máquinas especiais

j.1) Reflorestamento: tratores florestais e filler bush (processador de madeira)

Grupo 11 - Máquinas motoras e tratoras

k.1) Tratores agrícolas, tratores industriais e tratores florestais

## 2. Tratores Agrícolas

Importância: Aumentar a produtividade aliado à maior eficiência das atividades agrícolas, tornando-o menos árduo e mais atraente. Condicionam e exigem avanços tecnológicos constantes.

Evolução:

- 1858: Trator à vapor para arar a terra;
- 1889: Trator com combustão interna (Henry Ford - Fergusson);
- 1911: Ocorreu a primeira mostra de tratores de Nebraska - E.U.A.;
- 1920: Surgiram dois tratores agrícolas: Massey Harris - Henri Ford e Fergusson;
- 1940: Surgiram tratores equipados com Tomada de Potência (TDP), Barra de Tração (BT) e Sistema de 3 Pontos (1º ponto: inferior esquerdo, 2º ponto: inferior direito e 3º ponto: superior);
- Atualmente: Tratores com potência elevada e tecnologia avançada como os das marcas Ford-New Holland, Agrale, Massey – Fergusson, Caterpillar, Valmet, Muller e SLC.

### 2.1. Funções Básicas

- a) Tracionar máquinas e implementos de arrasto tais como arados, grades, adubadoras e carretas, utilizando a barra de tração;
- b) Acionar máquinas estacionárias, tais como batedoras de cereais e bombas de recalque d'água, através de polia e correia ou da árvore de tomada de potência;
- c) Tracionar máquinas, simultaneamente com o acionamento de seus mecanismos, tais como colhedoras, pulverizadores, através da barra de tração ou do engate de três pontos e da árvore de tomada de potência;

Tiveram como causas principais a evolução dos tratores:

- a) A necessidade do aumento da capacidade de trabalho do homem do campo, face à crescente escassez de mão-de-obra rural;
- b) A migração das populações rurais para as zonas urbanas, devido ao processo de desenvolvimento econômico pelo qual tem passado o nosso país.

Como consequência, o trator tem provocado modificações profundas nos métodos de trabalho agrícola nos seguintes aspectos:

- a) Redução sensível da necessidade de tração animal e de trabalho manual e, por consequência, diminuição do mercado de trabalho rural, para mão-de-obra não qualificada;
- b) Crescente exigência do emprego de tecnologia avançada, notadamente das técnicas de descompactação e conservação dos solos, de aplicação de fertilizantes e defensivos, da utilização de sementes selecionadas e de conservação e armazenamento dos produtos colhidos;
- c) Organização e racionalização do trabalho, através de planejamento agrícola e controle econômico-financeiro, dando às atividades de produção rural um caráter tipicamente empresarial.

A evolução do uso de máquinas na agricultura pode ser vista pela figura a seguir:

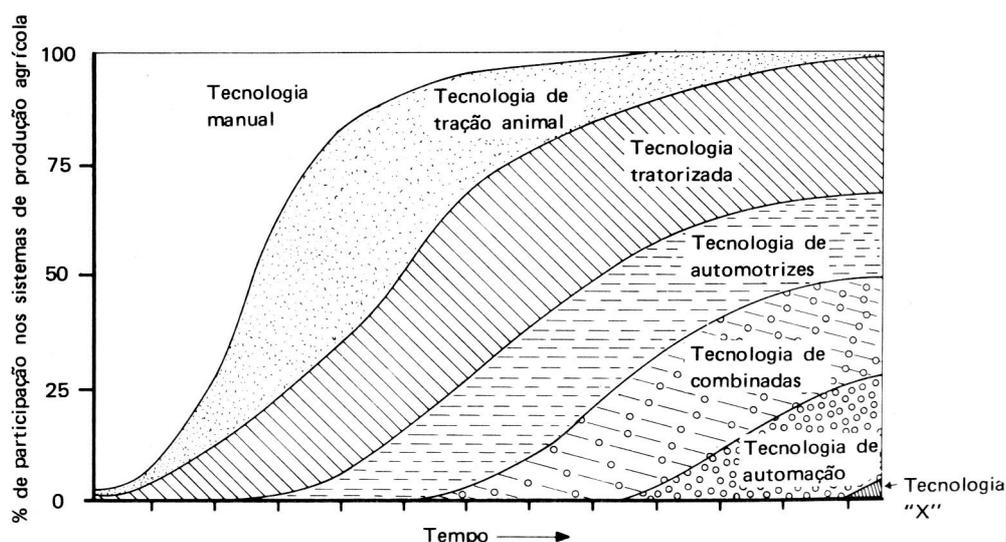


Figura 2.1 – Evolução da participação nos sistemas de produção das várias tecnologias de execução mecanizada das operações agrícolas.

## 2.2. Constituição

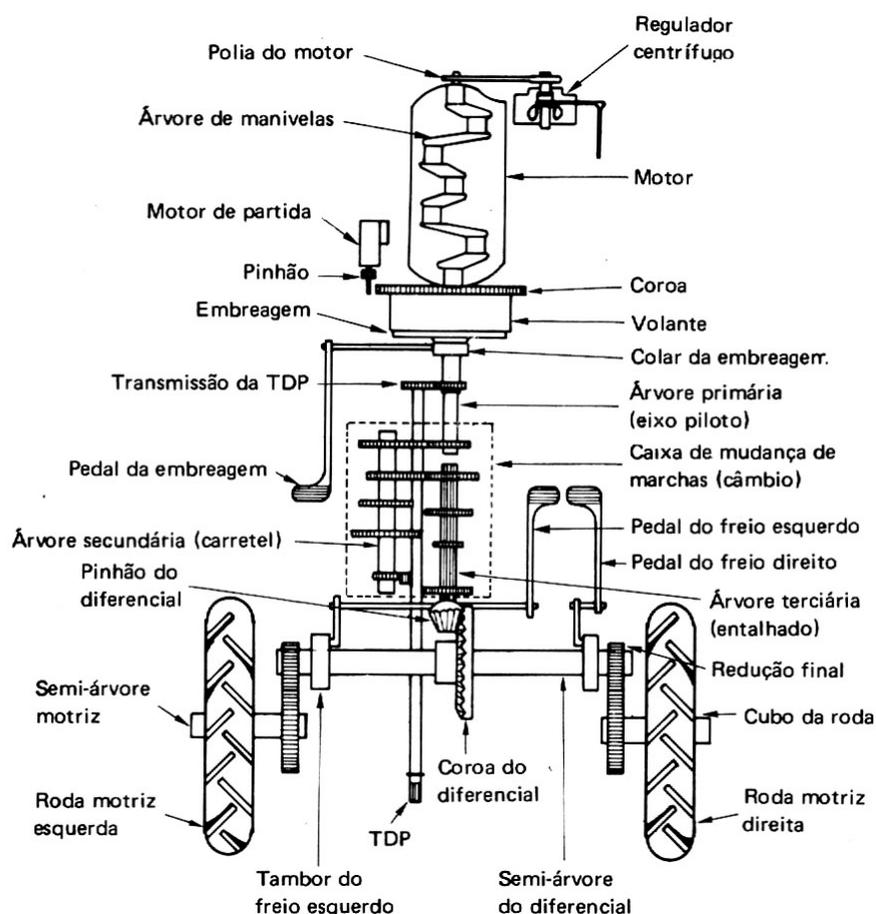


Figura 2.2 – Constituição geral de um trator agrícola.

- a) **Motor:** Responsável pela transformação da energia potencial do combustível em energia mecânica, na forma de potência disponível no eixo de manivelas.

Combustível	Diesel
Número de cilindros	1,3,4 ou 6
Bico Injetor	Injeção direta
Potência	16 ~ 215 cv
Torque	3,7 kgf.m a 79 kgf.m
Rotação máxima	2400 a 2700 rpm
Relação de compressão	16:1 a 18:1

- b) **Embreagem:** Órgão receptor da potência do motor e responsável pela sua transmissão à caixa de mudança de marchas, sob o comando de um pedal ou alavanca acionável pelo operador (pedal de embreagem).

- c) **Caixa de mudança de marchas:** Órgão mecânico responsável pela transformação de movimento para o sistema de rodados do trator. É o responsável pela transformação de torque e velocidade angular do motor, sendo comandada pela alavanca de mudança de marchas.
  
- d) **Coroa, pinhão e diferencial:** Órgãos transformadores e transmissores de movimentos responsáveis pela transmissão do movimento da caixa de mudança de marchas a cada uma das rodas motrizes; envolvendo uma redução proporcional de velocidade e uma mudança na direção do movimento de um ângulo de 90°.
  
- e) **Redução final:** Órgão que transmite os movimentos do diferencial às rodas motrizes com redução da velocidade angular e aumento do torque.
  
- f) **Rodados:** São os órgãos operadores responsáveis pela sustentação e direcionamento do trator, bem como sua propulsão, desenvolvida através da transformação da potência do motor em potência na barra de tração.
  
- g) **Tomada de potência (TDP):** Órgão responsável pela transformação do movimento do motor para uma árvore de engrenagens, cuja extremidade externa está localizada na parte traseira do trator, local onde são acoplados sistemas mecânicos rotativos. As tomadas de potência possuem rotações na faixa de 540 a 1000 rpm e são normalizadas pela ABNT-PB-83.
  
- h) **Sistema hidráulico:** Órgãos receptores, transformadores e transmissores da potência do motor através de um fluido sob pressão aos órgãos operadores, representados, principalmente, por cilindros hidráulicos. São normalizados pela ABNT-PB-131.
  
- i) **Reguladores:** Conjunto de órgãos que têm por função regular a velocidade angular do motor em função das variações das cargas às quais o trator é submetido.

- j) **Sistema de engate de três pontos:** Responsável pela tração e suspensão de implementos e máquinas agrícolas. É normalizado pela ABNT-PB-84, categoria I, II (tratores agrícolas) e III (tratores industriais e florestais).
- k) **Barra de tração (BT):** Órgão responsável pela tração de máquinas e implementos. É normalizado pela ABNT-PB-85.

### 2.3. Classificação Geral

A classificação geral dos tratores leva em consideração dois critérios básicos: o tipo de rodado e o tipo de chassi.

#### 2.3.1. Tipo de Rodado

Confere à máquina importantes características com relação à tração, estabilidade e rendimento operacional. Classificam-se em:

##### a) **Tratores de rodas**

Os tratores de rodas constituem o tipo predominante para uso agrícola. Caracterizam-se por possuírem, como meio de propulsão, rodas pneumáticas, cujo número e disposição determinam os seguintes subtipos:

##### *a.1) Duas rodas;*

- as rodas são motrizes;
- o operador caminha atrás do conjunto;
- tobatas ou microtratores.

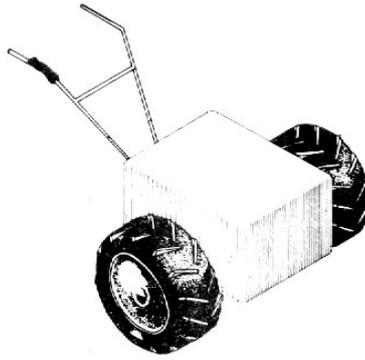


Figura 2.3 – Esquema de um trator de duas rodas.

*a.2) Triciclos;*

- possuem duas rodas traseiras motrizes e uma roda na frente;
- utilizados como tratores de jardinagem e ceifadores.

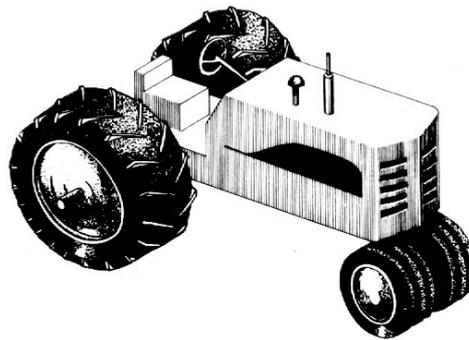


Figura 2.4 – Esquema de um trator de três rodas.

*a.3) Quatro rodas*

- duas rodas movidas e duas rodas atrás com diâmetro maior às anteriores;
- modelos: 4 X 2 (4 rodas, sendo 2 para tração); 4 X 4 (4 rodas, sendo as 4 para tração);

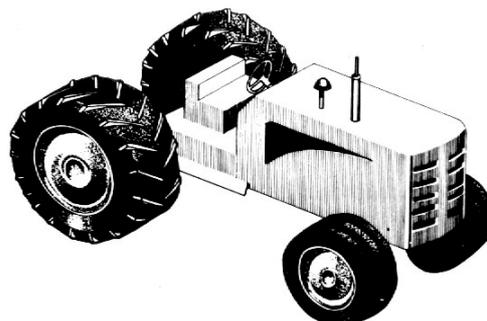


Figura 2.5 – Esquema de um trator de quatro rodas.

**b) Tratores de semi – esteiras**

São tratores de quatro rodas, porém modificadas, de forma a admitirem o emprego de uma esteira sobre as rodas traseiras motrizes.

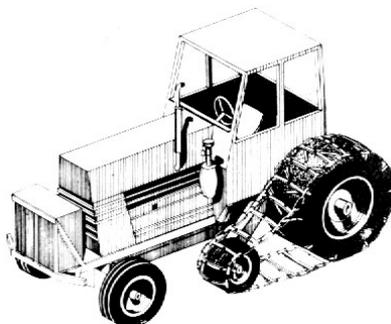


Figura 2.6 – Esquema de um trator de semi – esteiras.

**c) Tratores de esteiras**

O rodado desses tratores é constituído, basicamente, por duas rodas motoras dentadas, duas rodas guias movidas e duas correntes sem fim, formadas de elos providos de pinos e buchas dispostos transversalmente, denominados esteiras. As rodas dentadas transmitem movimento às esteiras que se deslocam sobre o solo, apoiadas em chapas de aço denominadas sapatas. Uma estrutura de apoio e um conjunto de roletes completam esse tipo de rodado.

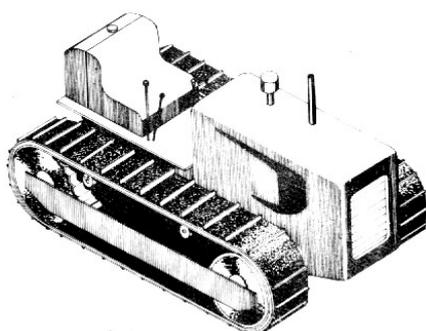


Figura 2.7 – Esquema de um trator de esteiras.

**2.3.2. Tipo de Chassi**

Confere características ao trator com relação ao Peso X Potência, distribuição dos esforços e localização do centro de gravidade.

Classificam-se em:

a) **Tratores industriais**

São utilizados para transporte e manuseio de ferramentas em parques industriais. Podem ser de rodas, esteiras e de chassi articulado.

b) **Tratores florestais**

São tratores utilizados para derrubada e corte de árvores, carregamento, transporte e processamento.

c) **Tratores agrícolas**

Segundo seu chassi podem ser de 2, 3 e 4 rodas. São transportadores de implementos e formam conjuntos combinados.

### 3. Ensaio de Tratores

Os pontos analisados nos ensaios podem ser divididos em:

- *Pontos obrigatórios*: Ensaio da Tomada de Potência (TDP);  
Ensaio da Barra de Tração (BT).
  
- *Pontos facultativos*: Ensaio do sistema hidráulico;  
Nível de fumaça;  
Nível de ruído;  
Ensaio de frenagem;  
Partida à baixa temperatura;  
Ensaio com temperatura controlada.

#### 3.1. Objetivos

- Atuar indiretamente como agente fiscalizador e elemento de garantia das condições mínimas de funcionamento e durabilidade;
- Fornecer ao fabricante dados que permitam aprimorar seu produto, visto que nem sempre as empresas possuem centro de ensaios.
- Fornecer aos usuários dados que lhe permitam a adoção de critérios racionais para a seleção de tratores e máquinas agrícolas;
- Levantar informações e dados técnicos obtendo-se características verdadeiras e livres de interferências comerciais ou de erros projetuais;

#### 3.2. Ensaio na Tomada de Potência (TDP)

a) *Potência teórica.*

$$P_t = \frac{Q \cdot c \cdot \rho}{632,32} \quad (3.1)$$

onde:

$P_t$  = Potência teórica, (cv);

$Q$  = quantidade de combustível consumido, (l/h);

$c$  = calor específico do combustível, (kcal/kg);

$\rho$  = densidade do combustível, (kg/l).

b) *Fatores que afetam a potência.*

- Relação estequiométrica (ar/combustível);
- Periodismo das válvulas;
- Rendimento termodinâmico;
- Umidade do ar;
- Relação de compressão: gasolina – 6 a 8, álcool – 12 a 14, diesel – 16 a 18.

c) *Órgãos responsáveis pelos ensaios de tratores.*

- DEA – Divisão de Engenharia Agrícola – Jundiaí/SP;
- CENEA – Centro Nacional de Engenharia Agrícola – Iperó/SP;
- CEEMAT – Centre de Etude de Machine Agricole – França;
- Centro de Nebraska – É o maior centro de investigação e ensaio de máquinas. Subsidiado pela S.A.E.

d) *Potência Efetiva Corrigida.*

$$P_{ec} = P_{eo} - \left( \frac{P_s}{P_o \cdot P_w} \right) \cdot \left( \frac{T_o}{T_v} \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

onde:

$P_{ec}$  = potência efetiva corrigida, (cv);

$P_{eo}$  = potência observada no ensaio, (cv);

$P_s$  = pressão atmosférica normal, (760 mmHg);

$P_w$  = pressão absoluta de vapor de água, (mmHg);

$P_o$  = pressão atmosférica local, (mmHg);

$T_o$  = Temperatura absoluta no local, (K);

$T_v$  = Temperatura normal absoluta, (K).

e) *Alteração de potência em função da altitude.*

Altitude (m)	Motor Otto (% de queda)	Motor Diesel (% de queda)
400	8	1
500	10	1,5
600	12	2,0
700	14	2,5
800	16	3,25

f) *Potência indicada.*

$$P_i = \frac{P_m \cdot L \cdot A \cdot N \cdot n}{7500 \cdot c} \quad (3.3)$$

onde:

$P_i$  = potência indicada, (cv);

$A$  = área do cilindro, (cm<sup>2</sup>);

$P_m$  = pressão média indicada, (kgf/ cm<sup>2</sup>);

$L$  = curso do êmbolo, (cm);

$N$  = número de cilindros do motor;

$n$  = rotação, (rpm);

$c$  = 1 para motor 2 tempos e 2 para motor 4 tempos;

g) *Potência de atrito*

$$P_{at} = P_i - P_e \quad (3.4)$$

onde:

$P_{at}$  = potência de atrito, (cv);

$P_i$  = potência indicada, (cv);

$P_e$  = potência efetiva, (cv).

## h) Rendimentos.

- mecânico (normalmente varia entre 75 e 95%)

$$\eta_m = \frac{Pe}{Pi} \cdot 100 \quad (3.5)$$

- térmico

$$\eta_m = \frac{Pi}{Pat} \cdot 100 \quad (3.6)$$

- termo-mecânico (para motores a diesel: 35%, para motores a gasolina: 25%)

$$\eta_m = \frac{Pe}{Pat} \cdot 100 \quad (3.7)$$

## i) Equipamento utilizado no ensaio de TDP.

São utilizados freios dinamométricos ou freio Prony (dinamômetro de absorção).

Um dinamômetro de absorção é aquele que mede a potência aplicada e, ao mesmo tempo, converte-a em qualquer outra forma de energia, normalmente calor. Um freio Prony é a forma mais elementar do dinamômetro de absorção.

O freio Prony não é inteiramente apropriado para as determinações de potência versus velocidade, de um motor de combustão interna, pois as curvas do conjugado versus velocidade, do freio e do motor, são aproximadamente as mesmas. Desse modo, o controle de velocidade é fraco.

Quando empregado com precaução, pode-se esperar que o freio Prony meça a potência com um erro de cerca de 1%.

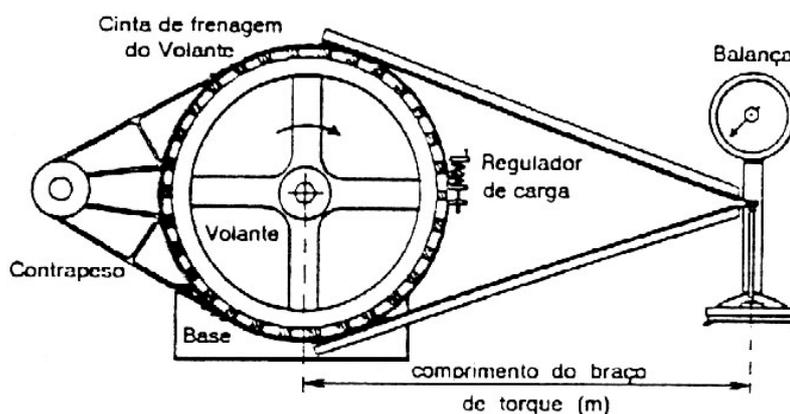


Figura 3.1 – Freio Prony.

O ensaio na TDP é realizado num período sequencial de duas horas com a presença de carga no trator. Um esquema do ensaio na TDP de um trator é mostrado na Figura 3.2.

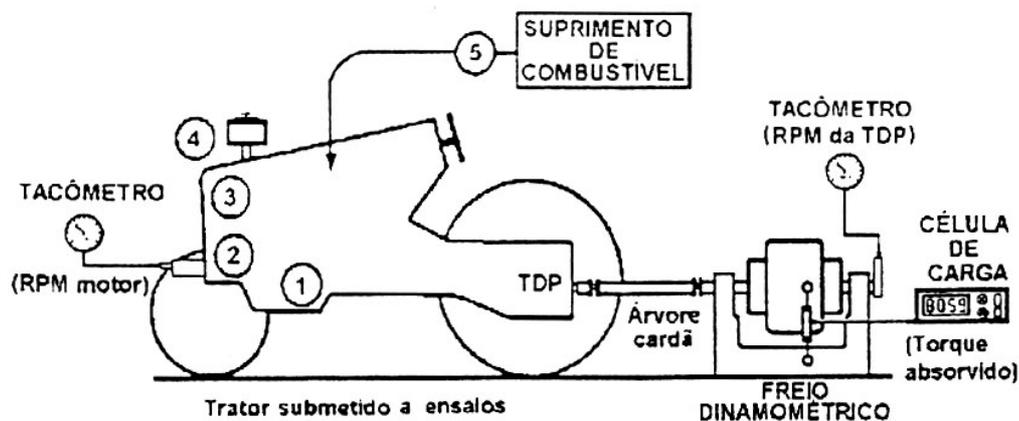


Figura 3.2 – Ensaio na TDP.

Um exemplo dos resultados de um ensaio, na potência máxima de um trator de 27 cv, é mostrado na tabela a seguir.

	Potência observada (cv)	Velocidade angular (rpm)		Consumo de combustível		
		TDP	Motor	Horário (l/h)	cv.h/l	Específico (g/cv.l)
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>A</i>	27,68	617	2032	6,410	4,318	191,5
<i>B</i>	25,65	538	1771	5,586	4,592	180,1
<i>C</i>	23,55	652	2147	5,172	4,119	200,8
<i>D</i>	-	690	2273	1,741	-	-
<i>E</i>	12,40	679	2236	3,206	3,868	213,8
<i>F</i>	27,75	622	2048	6,529	4,250	194,6
<i>G</i>	25,35	646	2127	5,949	4,261	194,1
<i>H</i>	18,40	666	2193	4,498	4,091	202,2

*A* = x de 12 posições durante 2 horas;

*B* = valores da TDP à 540 rpm;

*C* = 85% do torque de *AI*;

*D* = carga nula;

*E* = 50% da carga *CI*;

*F* = carga igual a *AI*;

*G* = 25% da carga *CI*;

*H* = 75% da carga *CI*.

Foi considerado, também, para esse ensaio:

- percentual de cargas normalizado pela norma de ensaio NB – 10400;
- torque equivalente no motor à potência máxima: 9,76 kgf.m;
- máximo torque equivalente no motor: 10,48 kgf.m.

É confirmada a exatidão do ensaio e a qualidade do produto quando não há variação na relação de transmissão, até a 3<sup>o</sup> casa decimal.

Conforme a tabela acima, verifica-se tal afirmação, pois:

$$i = \frac{RPM_{motor}}{RPM_{tdp}}$$
$$i_a = \frac{2032}{617} = 3,29335$$
$$i_b = \frac{1771}{538} = 3,29184$$
$$i_c = \frac{2193}{666} = 3,29294$$

j) *reserva de torque no motor.*

$$\Delta t = T_{max} - T_{pot. max} \quad (3.8)$$

onde:

$\Delta t$  = reserva de torque no motor, (%);

$T_{max}$  = torque máximo, (kgf.m);

$T_{pot. max}$  = torque à potência máxima, (kgf.m);

Se:

$\Delta t > 15\%$  (*bom*);

$10\% < \Delta t < 15\%$  (*regular*);

$\Delta t < 10\%$  (*ruim*);

Uma curva de desempenho da TDP é mostrado na Figura 3.3.

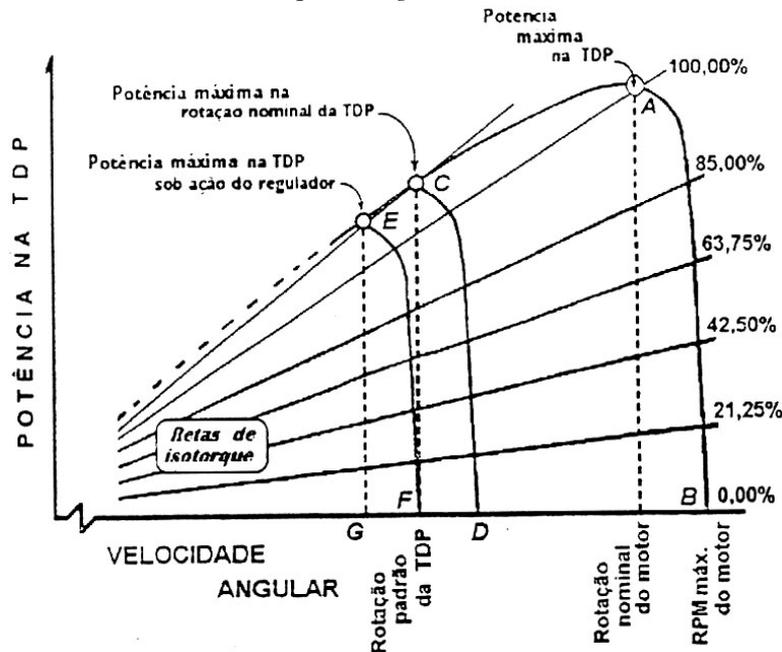


Figura 3.3 – Curva de desempenho da TDP com indicação das retas de isotorque à cargas parciais entre os pontos A e B.

### 3.3. Ensaio na Barra de Tração (BT)

O ensaio na barra de tração serve para determinar a potência efetiva ou disponível do trator. Os ensaios para tratores de pneus são realizados em pistas de concreto e os ensaios para tratores de esteira são realizados em pista de terra batida, conforme a Figura 3.4.

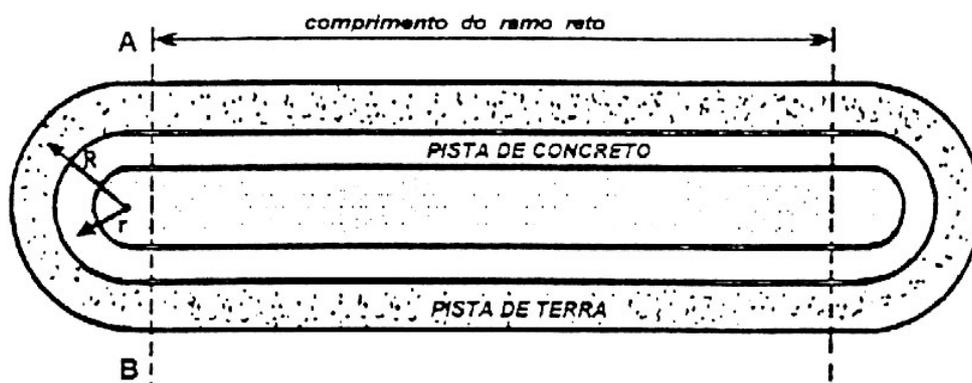


Figura 3.4 – Pistas para ensaio de barra de tração de tratores agrícolas.

O ensaio consiste, também, no cálculo da força de atrito do solo ou da pista de concreto e da resistência ao rolamento do solo.

Utiliza-se um comboio para levantamento das características de desempenho do trator. Sua constituição é de:

- ✓ trator lastrado a ser ensaiado;
- ✓ tacômetro;
- ✓ dinamômetro de força;
- ✓ carro dinamométrico;
- ✓ tratores de lastro com dimensões e potência equivalente ao trator a ser ensaiado.

Uma representação do ensaio pode ser observado pela Figura 3.5.

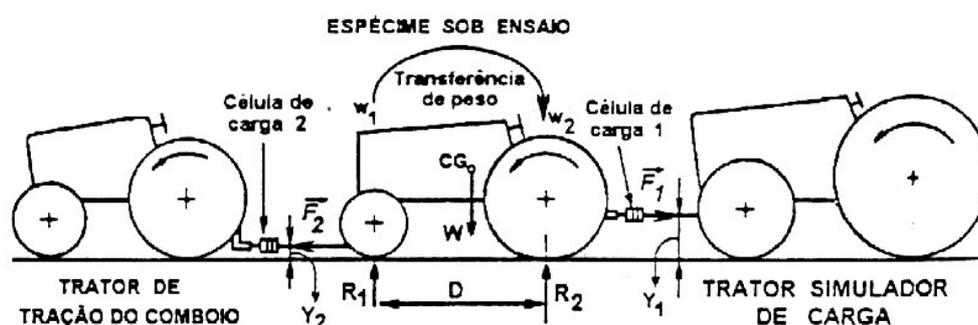


Figura 3.5 – Esquema da disposição do comboio para ensaio para mensuração da resistência ao rolamento de tratores.

O carro dinamométrico fornece:

- ✓ Condições do ar ambiente;
- ✓ Força de tração;
- ✓ Deslizamento ou patinamento das rodas motrizes;
- ✓ Rotação do motor;
- ✓ Consumo de combustível;
- ✓ Todas as temperaturas do trator ensaiado (combustível, lubrificante, ar, arrefecimento e freios).

A potência na barra de tração é influenciada por:

- ✓ Resistência ao rolamento;
- ✓ Patinamento ou deslizamento da roda motriz;
- ✓ Atrito;

Algumas equações são necessárias para obter-se um resultado quantitativo do ensaio na barra de tração. São elas:

a) *deslizamento ou patinamento da roda motriz.*

$$Dz = \frac{n_1 - n_0}{n_1} \cdot 100 \quad (3.9)$$

onde:

$Dz$  = deslizamento, (%);

$n_1$  = rotação do odômetro, (rpm);

$n_0$  = rotação da roda motriz, (rpm);

Considera-se como deslizamento permissível:

- tratores 4x2 até 15%;
- tratores 4x4 até 10%;
- tratores de esteiras até 7%.

b) *rendimento de tração.*

$$\eta = \frac{P_b}{P_{motor}} \cdot 100 \quad (3.10)$$

onde:

$\eta$  = rendimento de tração, (%);

$P_b$  = potência na barra durante o ensaio, (cv);

$P_{motor}$  = potência máxima do motor obtido durante o ensaio da TDP, (cv).

c) *coeficiente de tração.*

$$CT = \frac{F}{W_r} \quad (3.11)$$

onde:

$CT$  = coeficiente de tração;

$F$  = força de tração na barra, (kgf);

$W_{rt}$  = carga dinâmica nas rodas traseiras, (kgf).

A tabela a seguir indica os valores dos coeficientes de tração em função da condição do solo.

Condições do solo	Deslizamento (%)	Coeficiente de tração (%)		
		Mínimo	Máximo	Médio
Estrada de concreto	5	0,57	0,75	0,66
Argila seca	16	0,52	0,66	0,55
Argila arenosa	16	0,45	0,58	0,50
Argila fina seca	16	0,29	0,42	0,36
Estrada batida	5	0,32	0,41	0,36
Solo coberto por grama	8	0,31	0,41	0,36

Os fatores que influenciam o coeficiente de tração são:

- ✓ Tipo de dispositivo de tração (largura, gomos, número de rodas);
- ✓ Pressão dos pneus;
- ✓ Teor de umidade do solo;
- ✓ Desenho da banda de rodagem;
- ✓ Dimensões do dispositivo de tração;
- ✓ Distribuição de pressão.

*d) Diagramas de esforços nos pneus (roda movida).*

O diagrama do pneu de borracha de um trator, cheio de ar, e do conjunto da roda, considerados ambos como corpo livre se parecerá, aproximadamente, com o da figura seguinte.

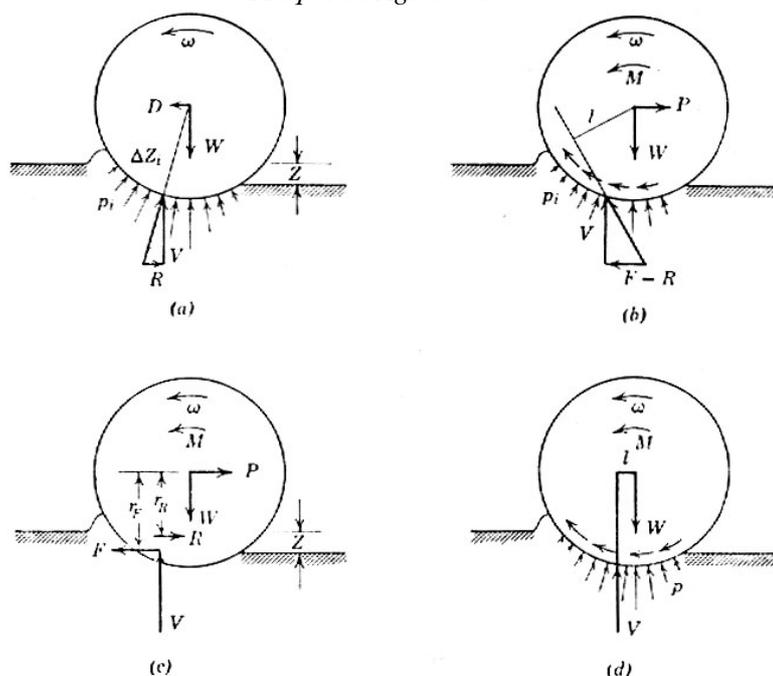


Figura 3.6 – Diagrama dos esforços numa roda de trator. a) rebocada, b) tracionando, c) tracionando, com as componentes horizontais de R e T separados, d) com M apenas suficiente para vencer a resistência ao rolamento R. G. E.

e) *Determinação da força de atrito.*

Equacionamento:

$$F = A \cdot c + w \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (3.12)$$

onde:

$F$  = força de atrito, (kgf);

$A$  = área, ( $\text{m}^2$ );

$c, \phi$  = coeficientes inerentes ao tipo de solo determinado em laboratório;

$w$  = peso do rodado, (kgf).

A reação do solo a um elemento de tração é, na maioria dos casos, afetada pela área cisalhada e pelo peso, conforme mostrado na Figura 3.7.

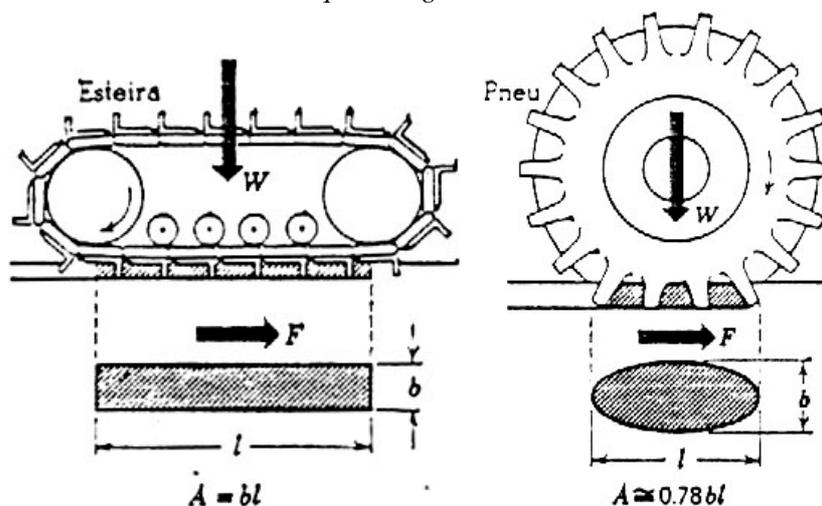


Figura 3.7 – Reação do solo em um trator de esteira e de pneu.

A tabela a seguir traz os valores de  $c$  e  $\phi$  em função do tipo de solo.

Tipo de solo	$c$ (lb/pol <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Terreno arenoso arado e sulcado	0,7	20
Terreno arenoso fino arado a pouco tempo	1,02	20,5
Terreno arenoso fino não arado	1,63	42,5

f) *Determinação da resistência ao rolamento.*

Equacionamento:

→ para trator de esteira.

$$R = \left( \frac{2}{n+1} \right) \left( \frac{w}{2l} \right)^{\frac{(n+1)}{n}} \left( \frac{1}{k_c + b \cdot k_\phi} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.13)$$

→ para trator de pneus.

$$R = \left( \frac{3 \cdot w}{d^{1/2}} \right)^{\frac{(2-n+2)}{2-n+1}} \cdot \frac{1}{n+1} \cdot \frac{1}{(3-n)^{\frac{(2-n+2)}{2-n+1}}} \cdot \frac{1}{(k_c + b \cdot k_\phi)^{\frac{1}{2-n+1}}} \quad (3.14)$$

onde:

$R$  = resistência ao rolamento em uma roda, (kgf);

$w$  = peso na roda, (kgf);

$b$  = menor dimensão da área de tração, (pol);

$l$  = maior dimensão da área de tração, (pol);

$d$  = diâmetro da roda, (pol).

$k_c$ ,  $k_\phi$  e  $n$  = são tabelados e significam módulo de deformação do solo (coesão), módulo de deformação do solo (atrato) e coeficiente de penetração da roda no solo, respectivamente. Os dois primeiros são, nessa ordem, expressos em  $lb/pol^{m+1}$  e  $lb/pol^{m+2}$ .

A tabela a seguir traz os valores de  $k_c$ ,  $k_\phi$  e  $n$  em função do tipo de solo.

Tipo de solo	$k_c$ ( $lb/pol^{m+1}$ )	$k_\phi$ ( $lb/pol^{m+2}$ )	$n$
Terreno arenoso arado e sulcado	11,2	19,2	0,95
Terreno arenoso fino arado a pouco tempo	1,65	1,32	1,10
Terreno arenoso fino não arado	10,5	37,2	0,61

g) *Coefficiente de resistência ao rolamento.*

Equacionamento:

$$c = k \cdot d^m \quad (3.15)$$

onde:

$c$  = coeficiente de resistência ao rolamento;

$d$  = diâmetro do pneu, (pol);

$k$  e  $m$  = tabelado.

$$c = R/w \quad (3.16)$$

onde:

$c$  = coeficiente de resistência ao rolamento;

$R$  = resistência ao rolamento, (kgf);

$w$  = peso da roda, (kgf).

A tabela a seguir traz os valores de  $k$ ,  $m$  e  $c$  em função do tipo de solo.

Tipo de solo	$k$	$m$	$c$
Areia solta	6,3	-0,9	0,425
Argila cultivada	4,2	-0,8	0,382
Terreno semeado	1,6	-0,7	0,196
Gramma	1,5	-0,3	0,610
Concreto	0,96	-1,0	0,048

### → EXEMPLO 3.1

Determine a tração máxima na barra de tração de um trator de esteira com sapata de 14"x66", tendo este trator um peso total de 7136 lbf (w).

Dados:

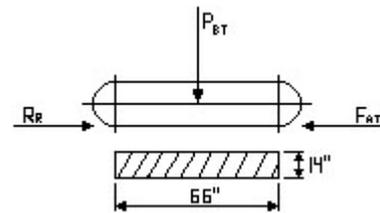
$$c = 2 \text{ psi}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$k_\phi = 9$$

$$n = 2$$

$$k_c = 20$$



Solução:

$$F_{at} = n \cdot b \cdot l \cdot c + w \cdot \text{tg} \phi = 2 \cdot 14 \cdot 66 \cdot 2 + 7136 \cdot \text{tg} 30^\circ \Rightarrow F_{at} = 7816 \text{ lbf}$$

$$R_R = \frac{2}{(n+1)(k_c + b \cdot k_\phi)^{1/n}} \cdot \left( \frac{W_t}{2 \cdot l} \right)^{n+1/n} = \frac{2}{(2+1)(20+14 \cdot 9)^{1/2}} \cdot \left( \frac{7136}{2 \cdot 66} \right)^{3/2}$$

$$R_R = 21,93 \text{ lbf} \cong 22 \text{ lbf}$$

$$P_{BT} = F_{at} - R_R = 7816 - 22 \Rightarrow P_{BT} = 7794 \text{ lbf}$$

### → EXEMPLO 3.2

Um trator pesando 3560 lbf tem este peso distribuído da seguinte forma: 2600 lbf nas rodas traseiras e 960 lbf na dianteira. A rotação dos pneus traseiro é 11,25"x36" e a rotação dianteira é 5"x16". Calcule a potência provável para vencer a resistência ao rolamento estando o mesmo se deslocando a 4 milhas/h sobre:

- a) Argila cultivada;  
b) Concreto.

Solução:

a) Coeficiente de resistência ao rolamento (c):

$$k = 4,2$$

$$m = -0,8 \quad C = k \cdot D^m = \frac{R}{W}$$

$$\text{Dianteira: } C_D = 4,2 \cdot 26^{-0,8} = 0,310$$

$$\text{Traseira: } C_T = 4,2 \cdot 58^{-0,8} = 0,163$$

$$R_{RD} = C_D \cdot W_{RD} = 0,310 \cdot 960 = 297,6 \text{ lbf}$$

$$R_{RT} = C_T \cdot W_{RT} = 0,163 \cdot 2600 = 423,8 \text{ lbf}$$

$$\text{Pot ou } N_{RR} = (R_D + R_T) \cdot V = (297,6 + 423,8) \cdot 4 = 2885,6 \text{ lbf} \cdot \text{milhas} / \text{h}$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ s}; 1 \text{ milha} = 5280 \text{ pés} \Rightarrow N_{RR} = \frac{2885,6 \cdot 5280}{3600} = 4232,2 \text{ lbf} \cdot \text{pés} / \text{s}$$

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{pés} / \text{s} \Rightarrow N_{RR} = \frac{4232,2}{550} \Rightarrow N_{RR} = 7,7 \text{ HP}$$

b) Coeficiente de resistência ao rolamento (c):

$$k = 0,96$$

$$m = -1,0 \quad C = k \cdot D^m = \frac{R}{W}$$

$$\text{Dianteira: } C_D = 0,96 \cdot 26^{-1,0} = 0,037$$

$$\text{Traseira: } C_T = 0,96 \cdot 58^{-1,0} = 0,017$$

$$R_{RD} = C_D \cdot W_{RD} = 0,037 \cdot 960 = 35,52 \text{ lbf}$$

$$R_{RT} = C_T \cdot W_{RT} = 0,017 \cdot 2600 = 41,6 \text{ lbf}$$

$$Pot \text{ ou } N_{RR} = (R_D + R_T) \cdot V = (35,52 + 41,6) \cdot 4 = 308,5 \text{ lbf} \cdot \text{milhas} / h$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ s}; 1 \text{ milha} = 5280 \text{ pés} \Rightarrow N_{RR} = \frac{308,5 \cdot 5280}{3600} = 452,5 \text{ lbf} \cdot \text{pés} / s$$

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{pés} / s \Rightarrow N_{RR} = \frac{452,5}{550} \Rightarrow N_{RR} = 0,82 \text{ HP}$$

#### h) Reserva de torque

Por exemplo, com uma potência no ensaio = 27,75 cv à 622 rpm na TDP e com as equações de momento no motor e reserva de torque:

$$\text{Momento} = 716,2 \cdot \frac{N}{n} \quad (3.17)$$

onde:

$N$  = potência máxima no motor, (cv);

$n$  = rotação na TDP, (rpm).

$$\Delta t = T_{\max} - T_{\text{pot max TDP}} \quad (3.18)$$

onde:

$\Delta t$  = reserva de torque, (kgf.m);

$T_{\max}$  = torque na potência máxima no motor, (kgf.m).

$T_{\text{pot max TDP}}$  = torque na potência máxima na TDP, (kgf.m).

$n$  = rotação na TDP, (rpm).

Tem-se:

$$\text{Momento} = 716,2 \cdot \frac{N}{n} = 716,2 \cdot \frac{27,75}{2048} = 9,7 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$\Delta t = T_{\max} - T_{\text{pot max TDP}} = 10,4 - 9,7 = 0,78 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$\% = \Delta t / T_{\max} = 0,78 / 10,48 = 7,5\%$$

Detectado o problema, para-se o ensaio e observa-se os seguintes pontos:

- ✓ Assentamento do eixo da TDP nos mancais de rolamento;
- ✓ Uso correto e especificação do lubrificante;
- ✓ Balanceamento no eixo da TDP;
- ✓ Potência efetiva do motor.

i) *Rendimento Termo-mecânico.*

Equacionamento com um exemplo:

$$\eta_{tm} = \frac{P_e}{P_t} \cdot 100 \quad P = 827 \text{ g/l} = 0,827 \text{ kg/l}$$

$$P_t = \frac{427 \cdot Q \cdot c \cdot P}{753600} = \frac{427 \cdot 6,529 \cdot 10140 \cdot 0,827}{753600} = 86,59 \text{ cv}$$

$$\eta_{tm} = \frac{27,75}{86,59} \cdot 100 = 32\%$$

j) *Rendimento energético.*

Equacionamento com um exemplo:

$$\eta_m = \frac{2687,2}{8358,8} \cdot 100 = 32,1\%$$

$$\text{Energia teórica} = CP = 10140 \cdot 0,827 = 8358,8 \text{ kcal/l}$$

$$\text{Energia real efetiva} = 4,25 \cdot 632,3 = 2687,2 \text{ kcal/l}$$

$$\text{Energia real} = (\text{cv} \cdot \text{h/l}) = 632,3 \text{ kcal/l}$$

### → EXEMPLO 3.3

Após o ensaio da TDP, conforme os dados da tabela, determine a reserva de torque considerando uma potência com 85% do torque de **A1**. Verifique ainda o rendimento energético, o rendimento termo-mecânico e justifique as deficiências observadas.

$$A = 2.L.b = 2.66.14 = 1848 \text{ pol}^2$$

$$F_{AT} = A.c + w.tg\phi = 1848.2 + 7136.tg30^\circ \Rightarrow F_{AT} = 7815,97 \text{ lbf}$$

$$R_r = \left(\frac{2}{n+1}\right) \left(\frac{w}{2.L}\right)^{\frac{(n+1)}{n}} \cdot \left(\frac{1}{k_c + b.k_\phi}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{2}{2+1}\right) \left(\frac{7136}{2.66}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{1}{20+9.14}\right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow R_r = 21,93 \text{ lbf}$$

$$P = F_{at} - R_r = 7815,97 - 21,93 \Rightarrow P = 7794,04 \text{ lbf}$$

a) Argila cultivada:

$$k = 4,2$$

$$m = -0,8$$

$$C = k.D^m = \frac{R}{W}$$

Para as rodas dianteiras:

$$C_{RD} = 4,2.26^{-0,8} = 0,310$$

$$R_{RD} = 0,310.960 = 297,6 \text{ lbf}$$

Para as rodas traseiras:

$$C_{RT} = 4,2.58^{-0,8} = 0,163$$

$$R_{RT} = 0,310.2600 = 423,8 \text{ lbf}$$

$$\text{Pot ou } N_{RR} = (R_D + R_T).V = (297,6 + 423,8).4 = 2885,6 \text{ lbf.milhas/h}$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ s}; 1 \text{ milha} = 5280 \text{ pés} \Rightarrow N_{RR} = \frac{2885,6.5280}{3600} = 4232,2 \text{ lbf.pés/s}$$

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf.pés/s} \Rightarrow N_{RR} = \frac{4232,2}{550} \Rightarrow N_{RR} = 7,7 \text{ HP}$$

b) *Concreto*

$$k = 0,96$$

$$m = -1,0 \quad C = k.D^m = \frac{R}{W}$$

Para as rodas dianteiras:

$$C_D = 0,96.26^{-1,0} = 0,037$$

$$R_{RD} = C_D.W_{RD} = 0,037.960 = 35,52 \text{ lbf}$$

Para as rodas traseiras:

$$C_T = 0,96.58^{-1,0} = 0,017$$

$$R_{RT} = C_T.W_{RT} = 0,017.2600 = 41,6 \text{ lbf}$$

$$\text{Pot ou } N_{RR} = (R_D + R_T).V = (35,52 + 41,6).4 = 308,5 \text{ lbf.milhas / h}$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ s}; 1 \text{ milha} = 5280 \text{ pés} \Rightarrow N_{RR} = \frac{308,5.5280}{3600} = 452,5 \text{ lbf.pés / s}$$

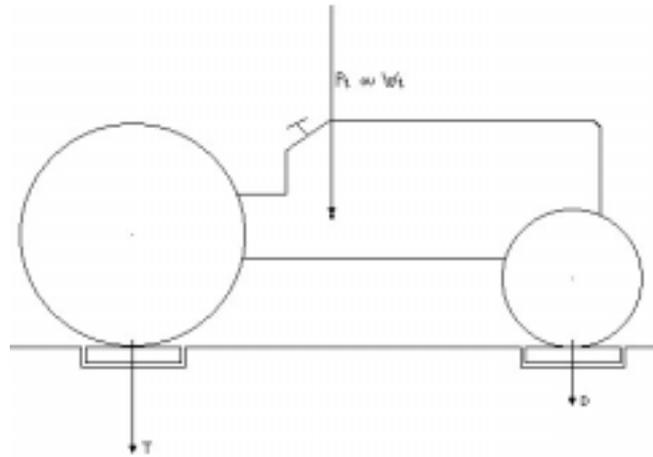
$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf.pés / s} \Rightarrow N_{RR} = \frac{452,5}{550} \Rightarrow N_{RR} = 0,82 \text{ HP}$$

### 3.4. Determinação do Centro de Gravidade dos Tratores Agrícolas

São divididos em:

- ✓ Método da suspensão;
- ✓ Método do ponto nulo;
- ✓ Método do equilíbrio;
- ✓ Método da dupla passagem (método mais eficiente, normalizado para determinação do C.G.)

a) *Método da pesagem.*

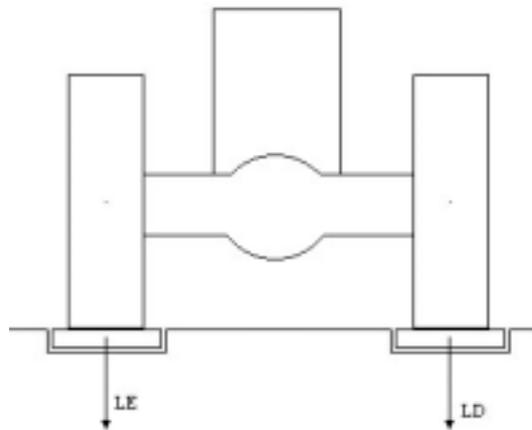


onde:

$P_t$  = peso total, (kgf);

$T$  = peso traseiro, (kgf);

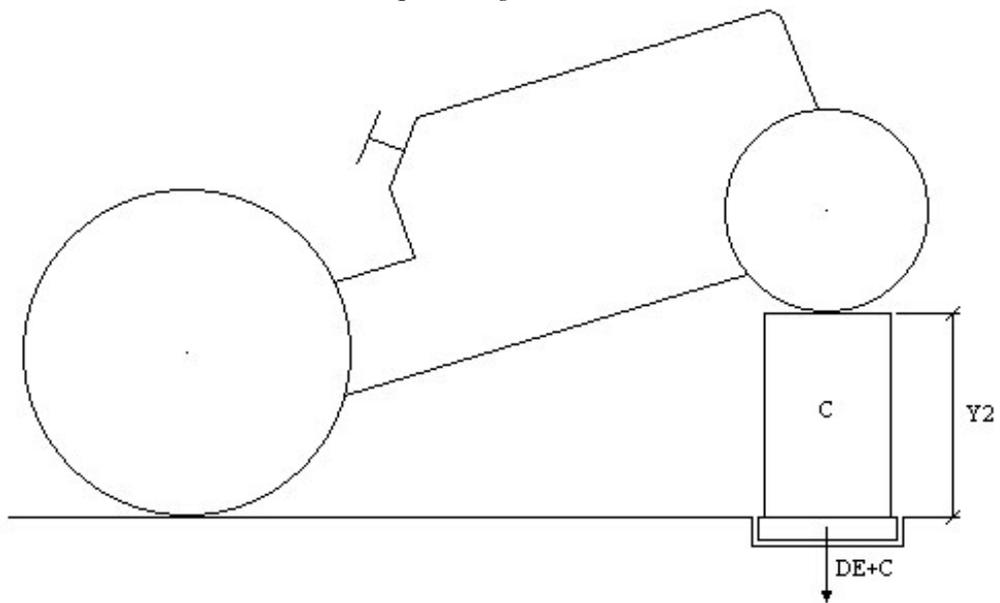
$D$  = peso dianteiro, (kgf).



onde:

$LE$  = peso do lado esquerdo, (kgf);

$LD$  = peso do lado direito, (kgf);

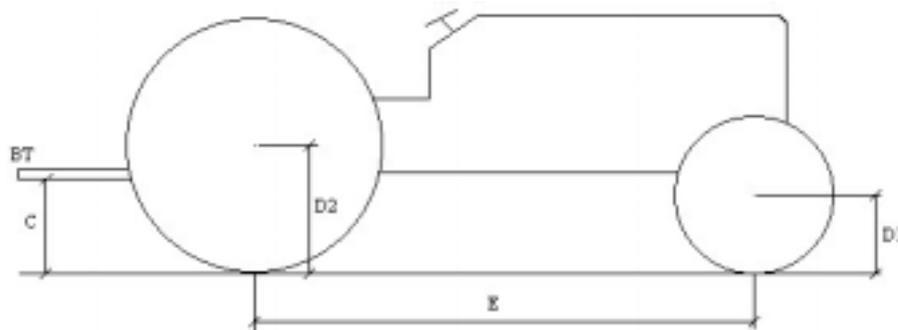


onde:

$C$  = calço de dimensões definidas;

$DE + C$  = peso dianteiro elevado + calço, (kgf);

$Y_2$  = altura do calço, (mm).



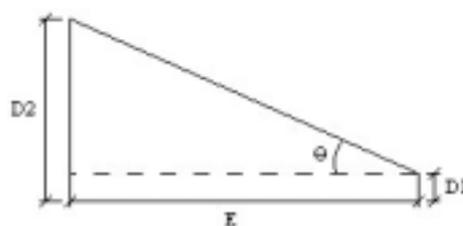
onde:

$C$  = altura da barra de tração, (mm);

$D_1$  = raio do rodado dianteiro, (mm);

$D_2$  = raio do rodado traseiro, (mm);

$E$  = distância entre eixos, (mm).



Equacionamento:

$$X = \frac{D \cdot E}{D + T} \quad (3.19)$$

$$Y = \frac{D_1 + (D \cdot E \cdot \cos \beta_1) - (DE \cdot E')}{P_t \cdot \sin \beta_1} \quad (3.20)$$

$$Z = \left( \frac{BT}{2} \right) \left( \frac{LD - LE}{P_t} \right) \quad (3.21)$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{D_1 - D_2}{E} \right) \quad (3.22)$$

$$\beta_1 = \theta + \beta_3 \quad (3.23)$$

$$\beta_3 = \arcsen \left( \frac{D_2 + Y_2 - D_1}{E} \right) \cdot \cos \theta \quad (3.24)$$

$$E' = \left( \frac{E}{\cos \theta} \right) \cdot \cos \beta_3 \quad (3.25)$$

### → EXEMPLO 3.3

Determine o centro de gravidade de um trator CBT, modelo 8240, submetido ao ensaio que apresentou as seguintes características ponderais:

$P_t = 6780 \text{ kg}$	$T = 4030 \text{ kg}$	$D = 2750 \text{ kg}$	$LD = 3380 \text{ kg}$
$LE = 3400 \text{ kg}$	$DE + C = 2910 \text{ kg}$	$C = 230 \text{ kg}$	$DE = 2680 \text{ kg}$
$Y_2 = 710 \text{ mm}$	$D_2 = 560 \text{ mm}$	$E = 2350 \text{ mm}$	$C = 300 \text{ mm}$
$BT = 1675 \text{ mm}$	$D_1 = 420 \text{ mm}$		

Solução:

$$X = \frac{D \cdot E}{D + T} = \frac{2750 \cdot 2350}{2750 + 4030} \Rightarrow X = 953,17 \text{ mm}$$

$$Z = \left( \frac{BT}{2} \right) \left( \frac{LD - LE}{P_i} \right) = \left( \frac{1675}{2} \right) \left( \frac{3380 - 3400}{6780} \right) \Rightarrow Z = -2,47 \text{ mm}$$

$$\theta = \text{arctg} \left( \frac{750 - 560}{2350} \right) \Rightarrow \theta = 4,62^\circ$$

$$\beta_3 = \text{arcsen} \left( \frac{560 + 710 - 750}{2350} \right) \cos 4,62^\circ = 12,74^\circ$$

$$\beta_1 = 12,74^\circ + 4,62^\circ = 17,36^\circ$$

$$E' = \left( \frac{2350}{\cos 4,62^\circ} \right) \cos 12,74^\circ = 2299,62 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{750 + (2750 \cdot 2350 \cdot \cos 17,36^\circ) - (2680 \cdot 2299,62)}{6780 \cdot \text{sen} 17,36^\circ} \Rightarrow Y = 2,91 \text{ mm}$$

P = 23,55 CV	$\eta_{\text{tdp}} = 652 \text{ rpm}$	$\eta_{\text{motor}} = 2147 \text{ rpm}$
--------------	---------------------------------------	--

$$T_{\text{pot max}} = 716,2 \cdot \frac{23,55}{2147} = 7,86 \text{ kgf.m}$$

$$\Delta t = 10,48 - 7,86 = 2,62$$

$$\frac{\Delta t}{T_{\text{max}}} = \frac{2,62}{10,48} = 25\%$$

b) *Rendimento de tração.*

Equacionamento:

$$n = \frac{P_b}{P_{motor}} \quad (3.26)$$

onde:

$n$  = rendimento de tração, (%);

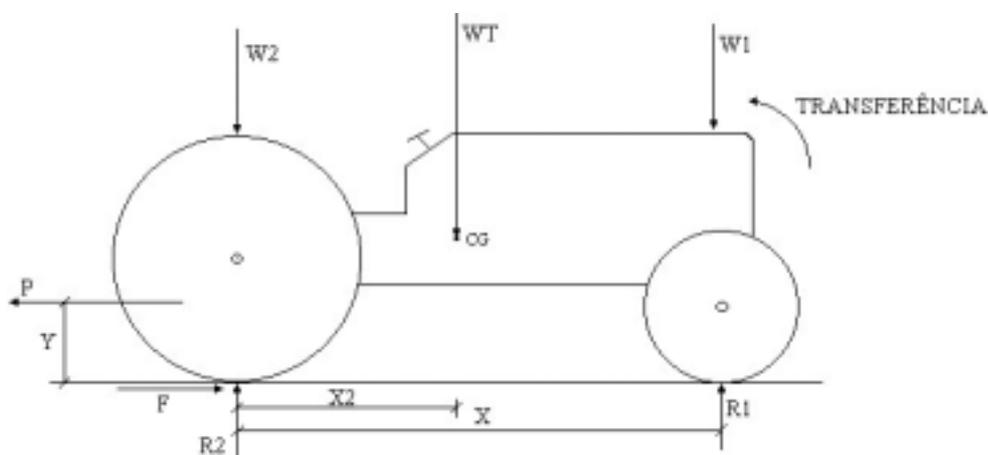
$P_b$  = potência na barra de tração, (cv);

$P_{motor}$  = potência máxima do trator, (cv).

c) *Estabilidade dos tratores.*

A estabilidade dos tratores pode ser:

✓ Devido à força de tração na barra de tração.



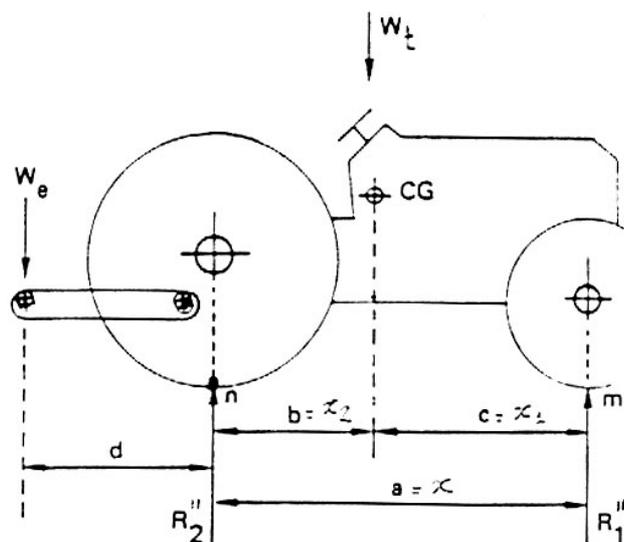
Equacionamento:

$$R_1 \cdot x + F \cdot y - w_t \cdot x_2 = 0 \quad (3.27)$$

$$R_1 = \frac{w_t \cdot x_2}{x} - \frac{F \cdot y}{x} = R_1 - \frac{F \cdot y}{x} \quad (3.28)$$

$$R_2 = \frac{w_t \cdot x_1}{x} - \frac{F \cdot y}{x} = R_2 - \frac{F \cdot y}{x} \quad (3.29)$$

✓ Devido à força no 3º ponto.

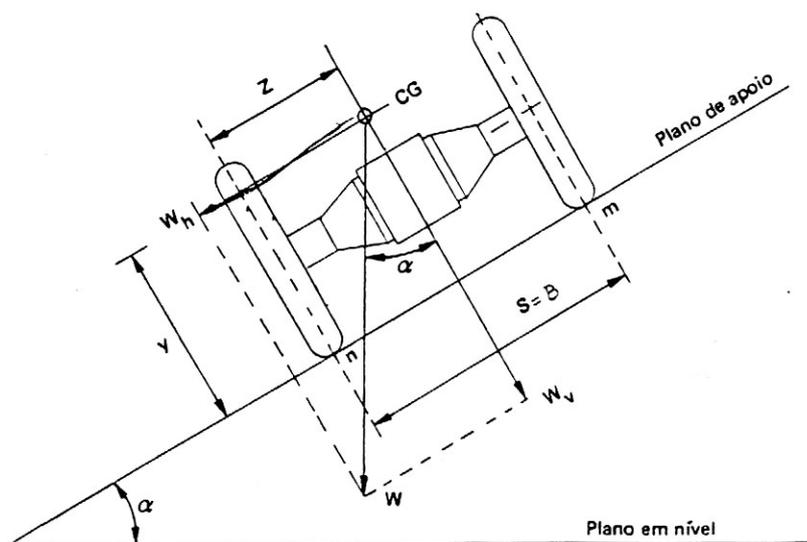


Equacionamento:

$$R_2'' \cdot x - w_t \cdot x_1 + w_t \cdot d = 0 \tag{3.30}$$

$$R_2'' = \frac{w_t \cdot x_1}{x} - \frac{w_t \cdot d}{x} = R_2 - \frac{w_t \cdot d}{x} \tag{3.31}$$

✓ Devido à estabilidade lateral.



Equacionamento:

$$\sum M_M = 0$$

$$w_H \cdot y = w_V \cdot \frac{B}{2}$$

$$w \cdot \text{sen } \alpha \cdot y = w \cdot \text{cos } \alpha \cdot \frac{B}{2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{B}{2} \cdot y \quad (3.32)$$

$$\text{tg } \alpha \cdot 100 = \text{declividade\_do\_terreno}$$

onde:

$w_H$  = carga horizontal, (kgf);

$w_V$  = carga vertical, (kgf);

### → EXERCÍCIO 3.1

Um determinado trator pesando 3560 lbf tem o peso distribuído da seguinte forma: 2600 lbf no rodado traseiro e 960 lbf no rodado dianteiro. Supondo que o referido está exercendo uma tração na barra de 1750 lbf, calcule:

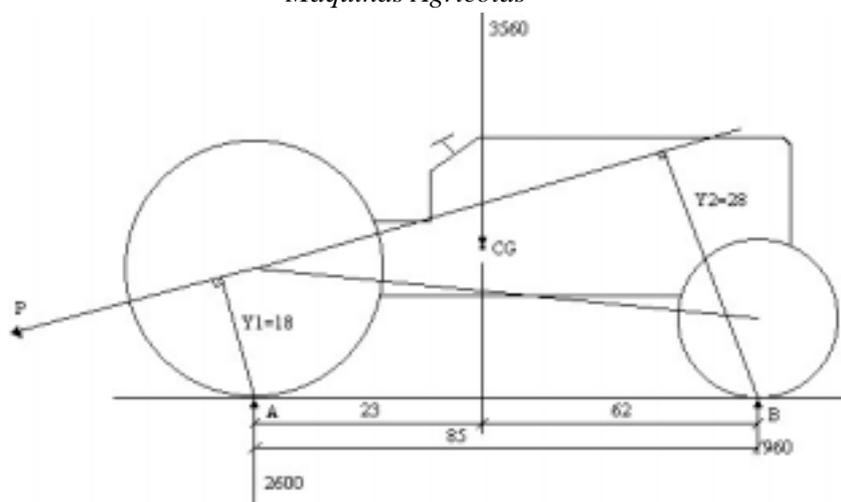
- a carga verdadeira nos pneus;
- o coeficiente de tração das rodas traseiras.

Dados:

$X_3 = 23''$	$X_2 = 589,4 \text{ lbf}$	$W_{t \text{ real}} = 3176,5 \text{ lbf}$
$X_1 = 85''$	$Y_1 = 18''$	$CT = 0,55$

### → EXEMPLO 3.5

De acordo com a tabela de CT (coeficiente de tração), determine a tração máxima na barra que o trator do problema anterior é capaz de exercer. O trator está em perigo de inclinar para trás? Justifique. Qual seria a força de tração na BT necessária para elevar as rodas dianteiras do solo? (Concreto:  $CT_{\text{Max}} = 0,75$ ).



Solução:

$$\sum M_A \Rightarrow P.Y_1 + W_D \cdot 85 = 3560 \cdot 23 \quad (I)$$

$$CT = \frac{P}{W_T} \Rightarrow W_T = \frac{P}{CT} \quad (II)$$

$$\sum M_B \Rightarrow P.Y_2 + 3560 \cdot 62 = W_T \cdot 85 \quad (III)$$

Substituindo (II) em (III), tem-se:

$$P \cdot 28 + 3560 \cdot 62 = \frac{P}{0,75} \cdot 85 \Rightarrow 28 \cdot P - 113,3 \cdot P = -3560 \cdot 62 \Rightarrow P = \frac{3560 \cdot 62}{85,33} \Rightarrow P = 2586,5 \text{ lbf}$$

De (I), tem-se:

$$2586,5 \cdot 18 + W_D \cdot 85 = 3560 \cdot 23 \Rightarrow W_D = \frac{3560 \cdot 23 - 2586,5 \cdot 18}{85} \Rightarrow W_D = 415,55 \text{ lbf}$$

Logo,

$$\frac{W_{D \text{ din}}}{W_{D \text{ est}}} = \frac{415,55}{960} = 43\%$$

$$\sum M_A \Rightarrow W_D \cdot 85 + P \cdot 18 = 3560 \cdot 23 \Rightarrow P = \frac{3560 \cdot 23}{18} \Rightarrow P = 4548,8 \text{ lbf}$$

### 3.5. Regra do Fator 0,86

Essa regra foi sugerida por Wendel Bowers da Universidade de Oklahoma (E.U.A.) e considera que:

- ✓ Potência do motor x 0,86 = Potência na TDP;
- ✓ Potência na TDP x 0,86 = Potência máxima no rodado sobre pista de concreto;
- ✓ Potência máxima no rodado sobre pista de concreto x 0,86 = Potência máxima sobre pista de chão batido;
- ✓ Potência máxima sobre pista de chão batido x 0,86 = Potência utilizável sobre solo arado;
- ✓ Potência utilizável sobre solo arado x 0,86 = Potência utilizável sobre solo solto.

Os principais fatores que afetam a exigência de potência são:

- ✓ Desempenho do motor;
- ✓ Potência efetiva;
- ✓ Resistência do solo ao deslocamento;
- ✓ Tamanho do trator;
- ✓ Combinação dos implementos com referência à largura e à profundidade de trabalho. Vale ressaltar que a largura de corte bem como a profundidade de trabalho estão relacionados com os órgãos ativos dos implementos.

Equacionamento da potência disponível:

$$\text{Potência (cv)} = \frac{\text{esforço de tração (kgf)} \times \text{velocidade operacional (km/h)}}{268} \quad (3.32)$$

ou

$$\text{Potência (cv)} = \frac{\text{esforço de tração (kgf)} \times \text{velocidade operacional (m/min)}}{75} \quad (3.33)$$

A tabela a seguir serve para determinar o tamanho de um implemento tracionado por um trator, em função da condição do solo.

<b>Operação</b>	<b>Esforço de tração (kgf.m)</b>	<b>Velocidade operacional (km/h)</b>	<b>Potência na BT por metro de largura</b>
<b>1 grade de disco em tandem</b>			
Tração pesada	448	6,5	10,49
Tração média	297	8,0	8,85
Tração leve	148	9,8	5,24
<b>2 grades de disco em tandem</b>			
Tração pesada	595	6,5	14,10
Tração média	483	8,0	14,10
Tração leve	372	9,6	13,12

**OBS.:**

Os diâmetros dos discos são de 32'' com exigência de peso por disco de 250 kg.0

As hastes subsoladoras possuem resistência, em diversos solos, de:

- solo arenoso: 1,7 a 2,2 kg por mm de profundidade;
- solo destorroado: 2,2 a 2,7 kg por mm de profundidade;
- solo duro: 2,7 a 3,2 kg por mm de profundidade.

A tabela a seguir mostra a resistência em relação à profundidade operacional dos subsoladores.

	<b>Profundidade (mm)</b>	<b>Exigência de tração (kg/haste)</b>
Solo arenoso	400	680 a 880
	500	880 a 1100
	600	1100 a 1320
Solo duro	400	1080 a 1350
	500	1350 a 1600
	600	1600 a 1920

**→ EXERCÍCIO 3.2**

Supondo que iremos tracionar uma grade em tandem de 14 discos de 32". Quantos cv disponíveis na barra necessitaríamos para tracionar esse implemento à 8,3 km/h?

---

---

**→ EXERCÍCIO 3.3**

Qual seria a exigência em cv de um subsolador de 3 hastes operando a uma velocidade de 7 km/h à 500 mm de profundidade em solo arenoso?

## 4. Preparo Inicial do Solo

Ele compreende as operações necessárias para criar condições de implantação de culturas, em áreas não utilizadas anteriormente com essa finalidade. A principal operação que se caracteriza em tal processo é a de desmatamento. Essa inicia-se com a eliminação da vegetação, seguida de uma limpeza do solo visando a erradicação de pequenas raízes ou ramos.

### 4.1. Fatores Levados em Consideração

- ✓ *Vegetação.* Um dos principais fatores a ser considerados, já que em função de seu reconhecimento, é escolhido o método a ser utilizado no processo de desmatamento, tempo necessário para desempenhar tal trabalho e custos envolvidos. Constitui-se da verificação do número e tamanho das árvores, densidade da vegetação, sistema radicular (formato das raízes), cipós, etc.
- ✓ *Finalidade do uso do terreno.* Refere-se à função que o terreno possuirá, como rodovias, barragens, culturas, etc.
- ✓ *Topografia.* Os acidentes de topografia afetam e/ou limitam a utilização normal de determinados equipamentos.
- ✓ *Condições climáticas.* Afetam as operações desde o corte até a queima.
- ✓ *Especificação do trabalho.* Determinam o grau de desbravamento, prazos de execução e seleção adequada do equipamento.

### 4.2. Tipos de Equipamentos Responsáveis pelo Desbravamento

#### a) *Lâminas Anglodozer e Buldozer*

Lâminas Anglodozer são especialmente utilizadas na remoção e derrubada de vegetação de diâmetro até 20 cm.

Lâminas Bulldozer são lâminas especiais utilizadas na derrubada de vegetais com diâmetro que varia de 20 a 70 cm.

Estas duas lâminas, em especial, apresentam defletores e esporões responsáveis pelo corte e aceleração do momento de queda do vegetal.

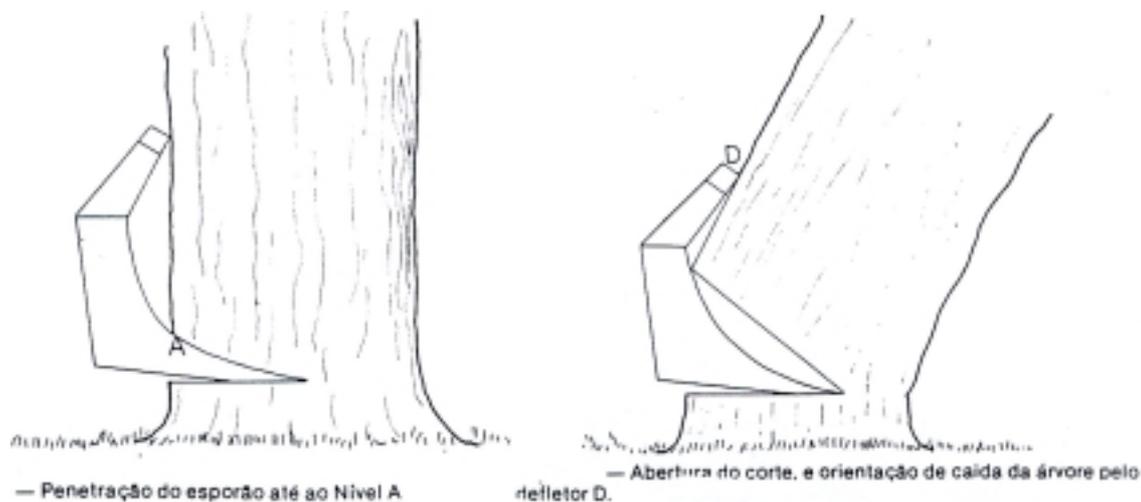


Figura 4.1 – Esquema de uma lâmina Anglodozer e Bulldozer.

#### b) Correntões

Acoplam-se a tratores de alta potência e de esteira. São recomendados para cerrado e cerradão (diâmetros de vegetação até 10 cm).

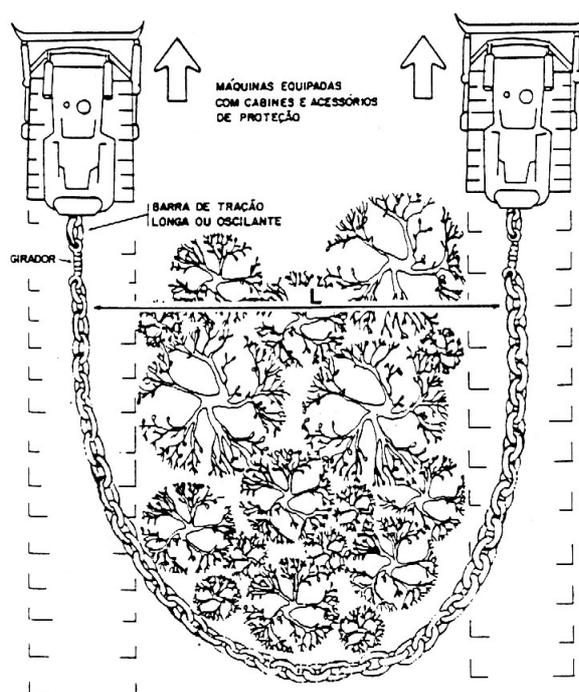


Figura 4.2 – Esquema do uso de correntões.

**OBS.:** Após a passagem pela vegetação, é feita a volta dos correntões (chamada de “arrepio”) para retirar as raízes restantes.

c) *Braço Fleco*

São lâminas de formato em “V”. Possuem duas seções formando um “V”, sendo a barra de corte serrilhada e tendo no centro o ferrão (utilizado para árvores muito grandes para serem cortadas, em lascamento de tocos e em corte rente ao chão).

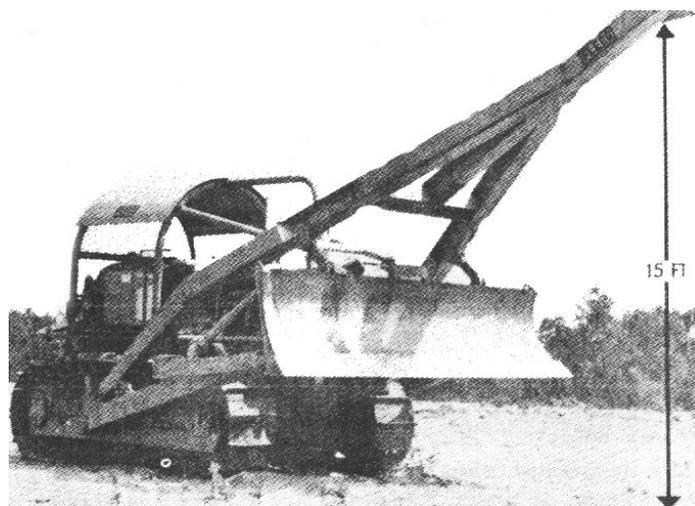


Figura 4.3 – Ilustração de um braço fleco.

d) *Tração por cabo*

É um processo comum usado por agricultores que não possuem máquinas apropriadas ou pesadas para desmatamento. O cabo de aço, corrente ou corda é preso à barra de tração do trator, que, deslocando-se seguidamente para a frente, provoca a queda da árvore.

De acordo com a Figura 4.4, quanto maior o ângulo  $\alpha$ , menos eficiente será a operação, pois a resistência oferecida pela árvore acarreta o levantamento da parte traseira do trator ao se deslocar, o que favorece o deslizamento das rodas ou esteiras. Para evitar esse problema, os cabos deverão possuir um comprimento adequado, para que o ângulo  $\alpha$  se torne menor.

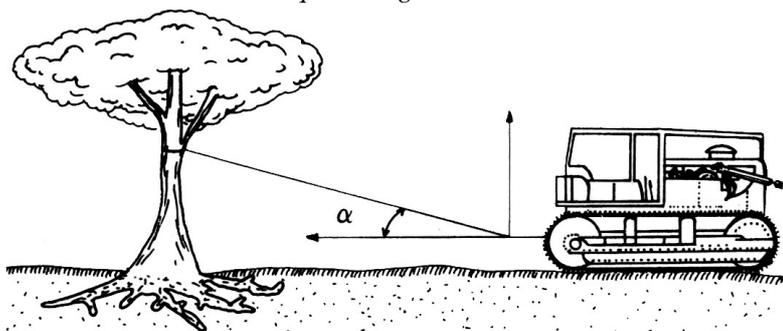


Figura 4.4 – Esquema de uma derrubada com trator acionado por cabo de aço.

#### e) *Aplicação de herbicidas*

São utilizados os herbicidas encontrados em lojas do ramo. Antigamente utilizava-se um desfolhante laranja, que consiste de um produto depositado por via aérea que, com a presença dos raios solares, ocasionam a perda das folhas. Hoje em dia, seu uso é proibido por possuir a desvantagem de ser tóxico e causar câncer.

Existe também equipamentos como roldanas e topadores, os quais são utilizados no desbravamento.

### 4.3. Tipos de Equipamentos Responsáveis pela Destoca

Destocamento é a retirada dos restos vegetais principalmente deixados pela operação com motosserras e buldozer. Os processos de destoca podem ser:

#### a) *Mecânico*

Utiliza-se de destocadores rotativos e lâminas tipo rabo de pato. Trabalha com a força de tração do trator.

#### b) *Químico*

Aplica-se  $\text{NaNO}_3$  em um furo na árvore feito através de uma broca. Este produto químico faz com que a madeira absorva e deteriore-se. Tem a desvantagem de ser um processo demorado (cerca de 3 meses), difícil de ser executado e caro.

Há também, para árvores de grandes diâmetros, a possibilidade da aplicação de bananas de dinamites.

c) *Manual*

É um processo simples, o qual são utilizadas ferramentas manuais como enxadas e machados.

### 4.3. Levantamento Densométrico e Determinação do Desempenho Operacional

Para que o levantamento densométrico seja obtido é necessário que sejam levantados os dados a seguir.

a) *Densidade da vegetação com menos de 30 cm de diâmetro.*

Densa – acima de 1500 árvores/ha;

Média – entre 1000 e 1500 árvores/ha;

Rala – abaixo de 1000 árvores/ha;

b) *Presença de madeiras duras (madeiras de lei) expressa em porcentagem, bem como cipós.*

c) *Somatória dos diâmetros, em metros, de todas as árvores por ha, com mais de 180 cm de diâmetro ao nível do solo.*

O desempenho operacional é dado pela Equação (4.1). E, pela Equação (4.2), por exemplo, se a eficiência de campo for de 82,5%.

$$P = \frac{l \cdot v}{10} \quad (4.1)$$

onde:

$P$  = desempenho operacional, (ha/h);

$l$  = largura de corte, igual à de corte nominal da lâmina, (m);

$v$  = velocidade do trator, (km/h).

e

$$P = \frac{l \cdot v}{10} \cdot 0,825 \quad (4.2)$$

A estimativa de desempenho é feita calculando-se o tempo necessário para trabalhar um hectare, por exemplo, em operações de corte. É dada pela Equação (4.3).

$$T = X \cdot (A \cdot B + M_1 \cdot N_1 + M_2 \cdot N_2 + M_3 \cdot N_3 + M_4 \cdot N_4 + D \cdot F) \quad (4.3)$$

onde:

$T$  = tempo por hectare, em minutos;

$A$  = fator de concentração ou presença de cipós que afetam o tempo básico;

$X$  = fator de concentração de madeiras de lei que afetam o tempo básico;

$B$  = tempo básico para cada trator, por ha;

$M$  = minutos por árvore, em casa classe de diâmetro;

$N$  = número de árvores por hectare, em cada classe de diâmetro, obtido no levantamento no campo;

$D$  = soma dos diâmetros, em metros, de todas as árvores por hectare, com diâmetro acima de 180 cm ao nível do solo, obtida no levantamento no campo;

$F$  = minutos por metro de diâmetro para árvores com mais de 180 cm de diâmetro.

A porcentagem de madeiras de lei afeta o tempo total do seguinte modo:

75 a 100% - somar 30% ao tempo total ( $X = 1,3$ )

25 a 50% - não altera o tempo ( $X = 1$ )

0 a 25% - subtrair 30% do tempo total ( $X = 0,7$ )

A determinação da produção de máquinas com uso de correntões é realizada através das equações seguintes.

$$L = \frac{c}{3} \quad (4.4)$$

onde:

$L$  = largura de corte, (m);

$c$  = comprimento do correntão definido em função da potência do trator, (m).

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{10} \quad (4.5)$$

onde:

$P$  = desempenho operacional **com** arrepio, (ha/h);

$L$  = largura de corte, (m);

$v$  = velocidade do trator, (km/h).

$Ef$  = eficiência de trabalho.

**OBS.:**

- a) Quando a operação é realizada com arrepio, trabalha-se com 75 % da velocidade do trator (velocidade operacional).
- b) A eficiência para o uso de correntões varia entre 0,45 e 0,65. Normalmente, trabalha-se com o valor médio.

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{20} \quad (4.6)$$

onde:

$P$  = desempenho operacional **sem** arrepio, (ha/h);

$L$  = largura de corte, (m);

$v$  = velocidade do trator, (km/h).

$Ef$  = eficiência de trabalho.

#### → EXEMPLO 4.1

Calcule a produção de corte (derrubada) de um trator de esteira marca FIAT modelo AD14 com 155 HP de potência, equipado com lâmina lisa, o qual trabalhará nas seguintes condições:

- remoção de tocos em operação separada;
- terreno com 5,0 % de declividade, solo firme e bem drenado;
- o levantamento densométrico apresentou o seguinte: 90 % de madeiras duras e a seguinte contagem de árvores por hectare:

-	<b>B</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>4</sub></b>	<b>D</b>	<b>F</b>
Faixa de diâmetro, cm	< 30	30 - 60	60 - 90	90 - 120	120 - 180	> 180	
Nº de árvores por hectare	120	40	8	6	4	16	40

Dado: A = fator de densidade da vegetação ou presença de cipós = 2,0 (cipós pesados).

Solução:

- São tabelados em função da potência do trator (155 HP):

$$M_1 = 4 \quad M_2 = 22 \quad M_3 = 44 \quad M_4 = 130$$

- Fator de densidade para madeiras duras:

$$X = 1,3 \text{ (90 \% de madeiras duras)}$$

Então, pela Equação (4.3), tem-se:

$$T = X \cdot (A \cdot B + M_1 \cdot N_1 + M_2 \cdot N_2 + M_3 \cdot N_3 + M_4 \cdot N_4 + D \cdot F)$$

$$T = 1,3 \cdot (2,0 \cdot 120 + 4 \cdot 40 + 22 \cdot 8 + 44 \cdot 6 + 130 \cdot 4 + 16 \cdot 40)$$

$$T = 2600 \text{ min/ha}$$

$$T = 43,33 \text{ h/ha}$$

Para a remoção de tocos em operação separada, deve-se acrescentar 50 % no tempo de produção calculado:

$$T = 43,33 \text{ h/ha} + 50\%$$

$$T = 65,0 \text{ h/ha}$$

→ **EXEMPLO 4.2**

Estimar a produção de 2 tratores de esteira marca FIAT modelo D6C, com transmissão direta, em trabalho de desbravamento com correntões, em uma área de cerrado leve.

Dados: Potência do trator = 140 HP e velocidade operacional = 2,7 km/h.

Solução:

- Pela tabela 5 do anexo, entrando-se 140 HP, tem-se:  $c = 90$  m.
- $v = 0,75 \cdot 2,7 = 2,02 \text{ km/h}$
- $Ef = 0,55$  (valor médio)
- Considerando a operação **sem** arrepio.

Então, pelas Equações (4.4) e (4.5), tem-se:

$$L = \frac{c}{3} = \frac{90}{3}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{10}$$

$$P = \frac{30 \cdot 2,02 \cdot 0,55}{10}$$

$$P = 1,66 \text{ ha/h}$$

## 5. Preparo Periódico do Solo

São as operações realizadas após o preparo inicial do solo, em que a mobilização da camada superficial é realizada com implementos de órgãos ativos: discos (lisos ou recortados), hastes, lâminas ou enxadas e ferramentas, cuja conformação se destina à erradicação de plantas daninhas.

Destacam-se como equipamentos principais os arados, as grades e os subsoladores.

### 5.1. Arados

Os arados podem ser de aivecas ou de discos.

#### 5.1.1. Arados de Aivecas

É um dos implementos mais antigos utilizados no preparo do solo para instalação de culturas periódicas. Foram utilizados, além de outros povos, pelos chineses, os quais inicialmente possuíam formatos triangulares ou quadrados e, posteriormente, curvados, sendo estes utilizados até os dias de hoje sem grandes modificações.

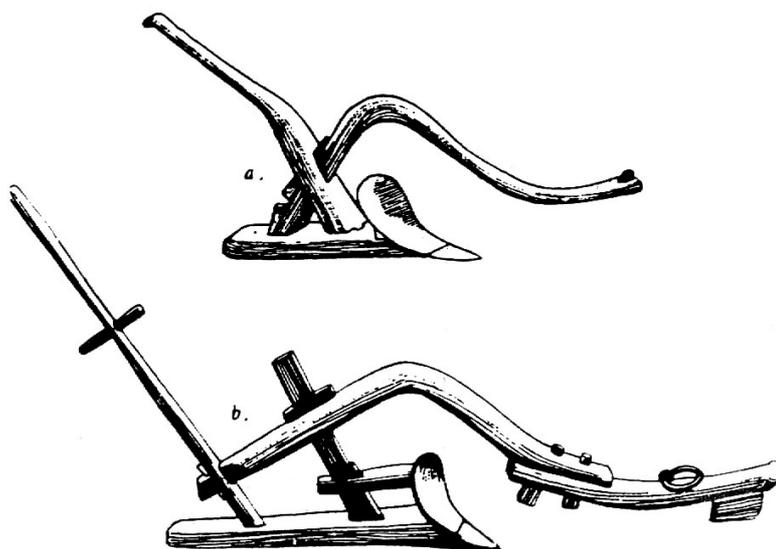


Figura 5.1 – Arados de aiveca chineses. a) triangular e b) quadrangular.

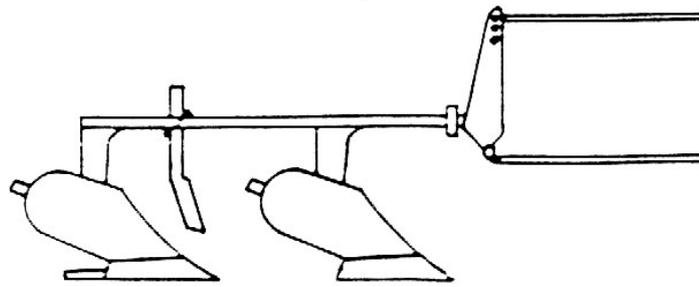


Figura 5.2 – Arado de aiveca utilizado atualmente.

Podem ser classificados como segue:

- ✓ Quanto a forma de acionamento
  - Tração animal
  - Tração mecânica
  
- ✓ Quanto a forma de acoplamento à fonte de potência
  - De arrasto
  - Montado
  - Semi – montado
  
- ✓ Quanto a movimentação do órgão ativo
  - Fixo
  - Reversível
  
- ✓ Quanto ao número de órgãos ativos
  - Monocorpo
  - Corpos múltiplos

A constituição das aivecas é ilustrada na figura a seguir.

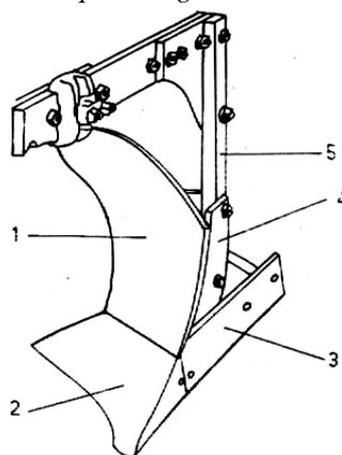


Figura 5.3 – Constituição de uma aiveca: 1 – Aiveca, 2 – Relha, 3 – Rasto, 4 – Suporte, 5 – Coluna.

### 5.1.2. Arados de Discos

O arado de discos apareceu em substituição aos arados de aivecas e sua origem teve como ponto de partida a grade de discos. Este tipo de arado é uma das máquinas mais estudadas e aperfeiçoadas pelos engenheiros, técnicos e fabricantes de maquinaria agrícola.

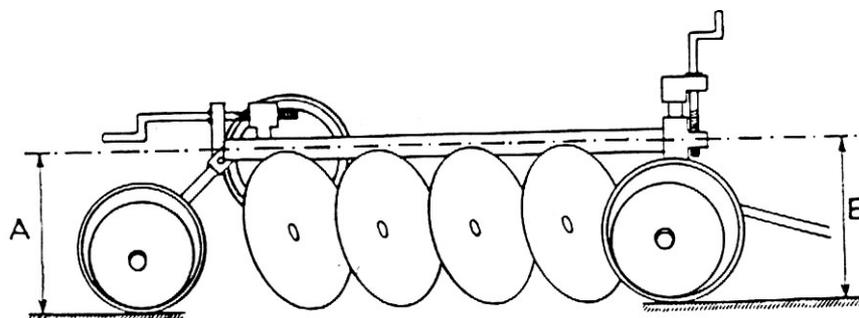


Figura 5.4 – Ilustração de um arado de disco.

Foi construído para ser usado em terrenos secos e duros, porém não pode-se desprezar o uso do arado de aivecas pela simples razão de que nenhum arado de um só tipo e tamanho pode preparar todos os tipos de solo, nem ser utilizado em todas as estações do ano com iguais resultados.

Eles apresentam como principal vantagem, quando comparados com os de aiveca, o fato de possuírem como órgãos ativos, os discos que, para executar sua função, trabalham com um movimento de rotação e, portanto, são menos suscetíveis a impactos, uma vez que, ao encontrar um obstáculo qualquer, o disco rola sobre o mesmo, diminuindo a influência

do impacto sobre a estrutura. Também são preferíveis para solos pegajosos e com terra endurecida.

Os arados de discos continuam operando, mesmo depois que seus órgãos ativos tenham sofrido um desgaste considerável, podendo ser utilizados em solos abrasivos sem perda da sua eficiência. Já as relhas do arado de aiveca, quando desgastadas, perdem suas características técnicas e há necessidade de repará-las ou substituí-las para que possam continuar operando, o que faz com que os arados de aiveca não possam ser utilizados em solos abrasivos. No entanto, o arado de discos não realiza o tombamento da leiva ou da cobertura da vegetação de superfície de maneira tão perfeita quanto o arado de aiveca.

A constituição do arado é ilustrada na figura a seguir.

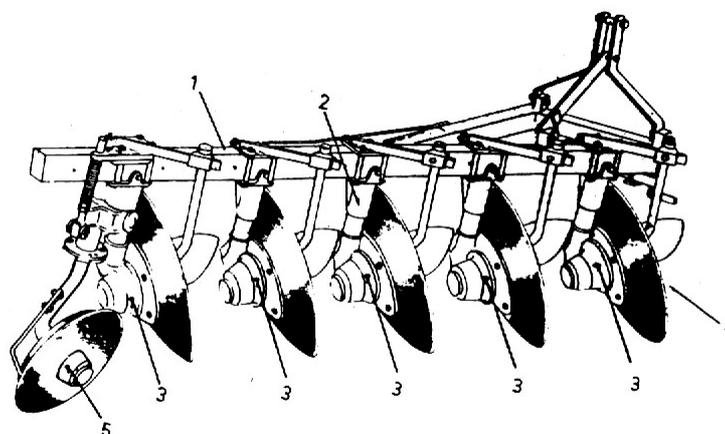


Figura 5.5 – Constituição de um arado: 1 – Chassi, 2 – Coluna, 3 – Mancal, 4 – Disco, 5 – Roda-guia.

Os discos que compõem o arado podem ser:

a) *Discos lisos*

Sua constituição básica é de aço 1045. Não possui dentes, o que define a sua penetração ao solo é a curvatura, espaçamento e número de discos, peso, velocidade de trabalho e inclinação tanto vertical como horizontal. Suas bordas são temperadas e revenidas e possuem furos na região central para alívio de tensões.

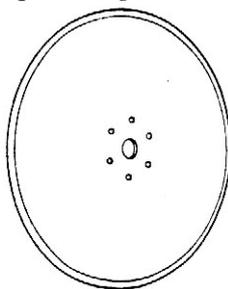


Figura 5.6 – Disco liso.

*b) Discos recortados*

Sua constituição básica também é de aço 1045. O recorte é feito para melhorar a capacidade de corte; possui ângulo de afiamento na parte externa e interna. Quando comparados com os discos lisos, apresentam a vantagem de melhor performance (maior penetração no solo) e a desvantagem de maior probabilidade de quebras. Ambos são conformados a quente.

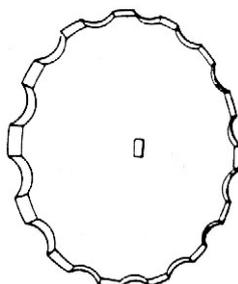


Figura 5.7 – Disco recortado.

### 5.1.3. Fatores que Influem na Penetração dos Discos no Solo

Podem ser citados:

- ✓ Ângulo vertical;
- ✓ Velocidade operacional;
- ✓ Peso dos discos;
- ✓ Afição dos discos;
- ✓ Relação  $f/d$  (concavidade/diâmetro);
- ✓ Mola da roda guia.

→ ângulo de trabalho dos discos : vertical e horizontal.

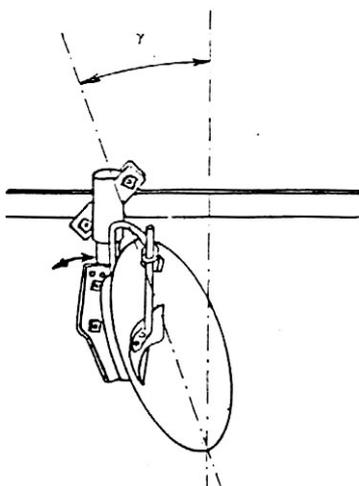


Figura 5.8 – Ângulo de trabalho dos discos.

→ concavidade dos discos – relação  $f/d$ .

solos duros e compactados	$f/d = 0,12$
solos médios	$f/d = 0,15$
solos leves	$f/d = 0,20$

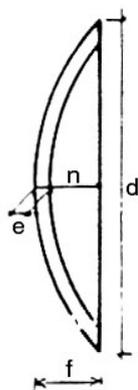


Figura 5.9 – Concavidade dos discos.

→ mola da roda guia

Quanto maior a pressão na mola, menor a profundidade de penetração.

A variação de ângulos na roda guia permite as correções de dirigibilidade do conjunto (ajuste fino).

## 5.2. Grades

Sua função é completar o serviço executado pelos arados, embora elas possam ser utilizadas antes ou até mesmo em substituição a estes em algumas situações. Também têm a função de complementar o preparo do solo, no sentido de desagregar os torrões, nivelar a superfície do solo para facilitar a semeadura, diminuir vazios que resultam entre os torrões e destruir os sistemas de vasos capilares que se formam na camada superior do solo, para evitar a evaporação de água das camadas mais profundas.

As grades de discos podem ser basicamente de três tipos:

a) *Simple ação*

Sua característica básica é a inversão do solo com uma passada. Estes sistemas são empregados somente no controle de plantas daninhas (capina superficial).

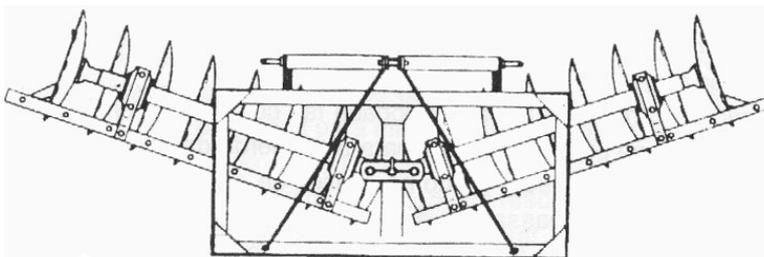


Figura 5.10 – Grade de discos de simples ação.

b) *Dupla ação*

São sistemas providos de discos, os quais permitem a mobilização do solo, ou seja, o solo é removido e depois sofre uma desestruturação. Utilização marcante em operações de nivelamento superficial do solo após a mobilização pela aiveca ou arado de discos.

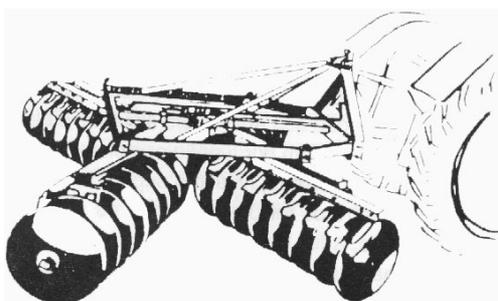


Figura 5.11 – Grade de discos de dupla ação.

c) *Tandem ou off-set*

São aquelas utilizadas para mobilização profunda do solo em substituição aos arados de discos ou aivecas. Também conhecido como grade aradora.

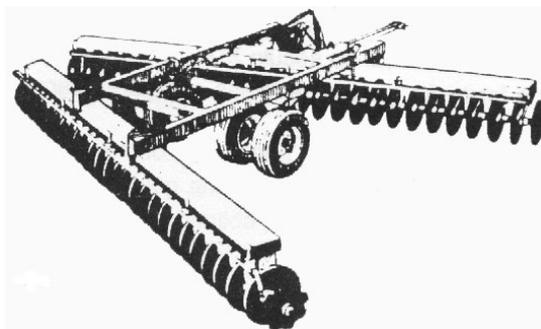


Figura 5.12 – Grade de discos *tandem* ou *off-set*.

A constituição das grades é ilustrada na figura a seguir.

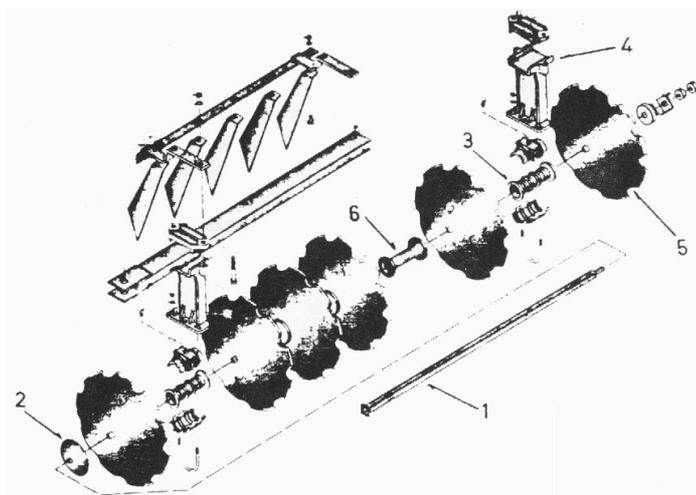


Figura 5.13 – Constituição de uma grade: 1 – Eixo, 2 – Calota, 3 – Mancal, 4 – Suporte do mancal, 5 – Discos, 6 – Carretel espaçador.

→ O acoplamento das grades podem ser de três tipos:

a) *Arrasto*

Utilizam a barra de tração (BT) para movimentação e ação dos órgãos ativos.

b) *Montados*

São aqueles acoplados nos 3 pontos do trator, ou seja, no 3º ponto superior e nos dois pontos inferiores.

*c) Semimontados*

São aqueles que utilizam a barra de tração para movimentação dos órgãos ativos e seu transporte é realizado pelos 3 pontos do trator.

→ Quanto aos tipos de discos utilizados, podem ser:

- ✓ Plano liso;
- ✓ Côncavo de centro;
- ✓ Côncavo de centro plano;
- ✓ Côncavo liso.
- ✓ Côncavo recortado;
- ✓ Cônico recortado;

A perfeita profundidade de mobilização de um disco de arado é de 1/3 do diâmetro, pois, desta forma, permite um perfeito ajuste do ângulo de ataque.

O ângulo de ataque para discos de grades está relacionado com o ângulo de abertura das seções das grades e com o deslocamento do centro de tração da fonte de potência.

### **5.3. Subsoladores**

Subsolagem é uma prática que consiste na mobilização sub-superficial do solo com o objetivo de quebrar as camadas compactadas ou adensadas do solo.

Subsolador é um implemento agrícola provido de órgãos ativos (hastes) que são responsáveis pela quebra da camada compactada. Seu acoplamento é através dos três pontos do trator ou da barra de tração.

Os subsoladores, Figura 5.14, variam em função do acoplamento e da configuração das hastes, cujos formatos estão ilustrados pela Figura 5.15.

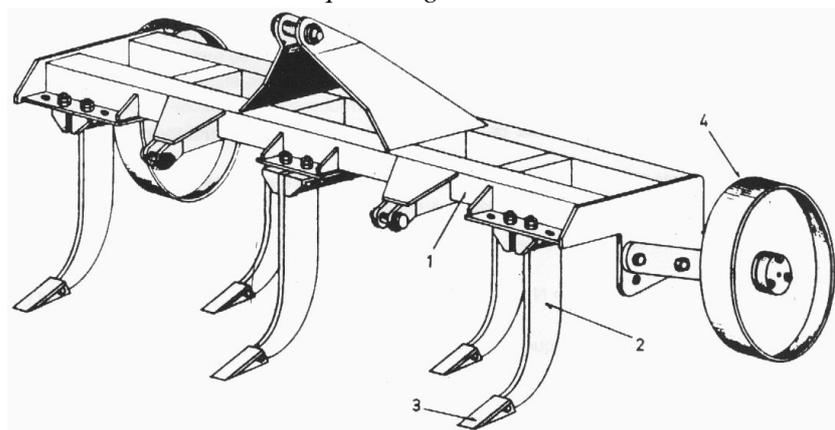


Figura 5.14 – Constituição de um subsolador: 1 – Barra de ferramentas, 2 – Haste, 3 – Ponta, 4 – Rodas de controle de profundidade.

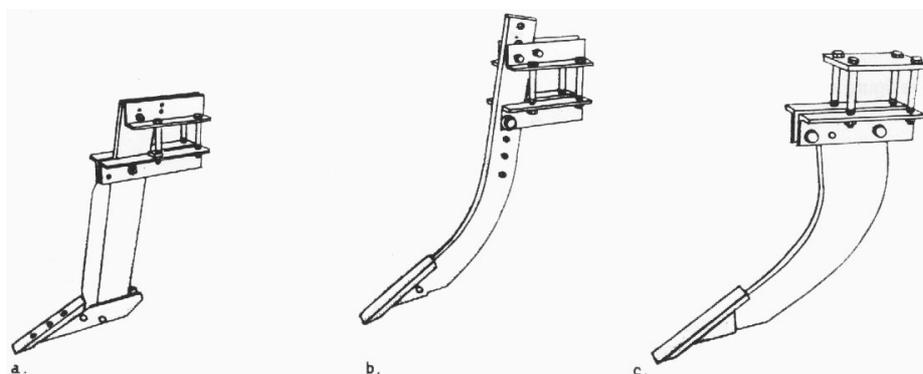


Figura 5.15 – Formato das hastes de um subsolador: a) reta, b) curva, c) parabólica.

O subsolador têm a função de descompactar a camada B, como ilustrado na Figura 5.16.

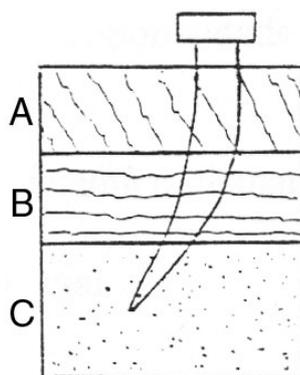


Figura 5.16 – Esquema da ação de um subsolador: A - Camada arável ou permeável do solo; B - Camada compactada; C - Solo sem compactação.

As causas da compactação podem ser originadas:

- ✓ Pela pressão exercida no solo pelos pneus e esteiras dos tratores;
- ✓ Pelo tráfego constante das máquinas sobre o solo;
- ✓ Pela ação dos órgãos ativos (discos, hastes e enxadas) durante a operação de mobilização do solo.

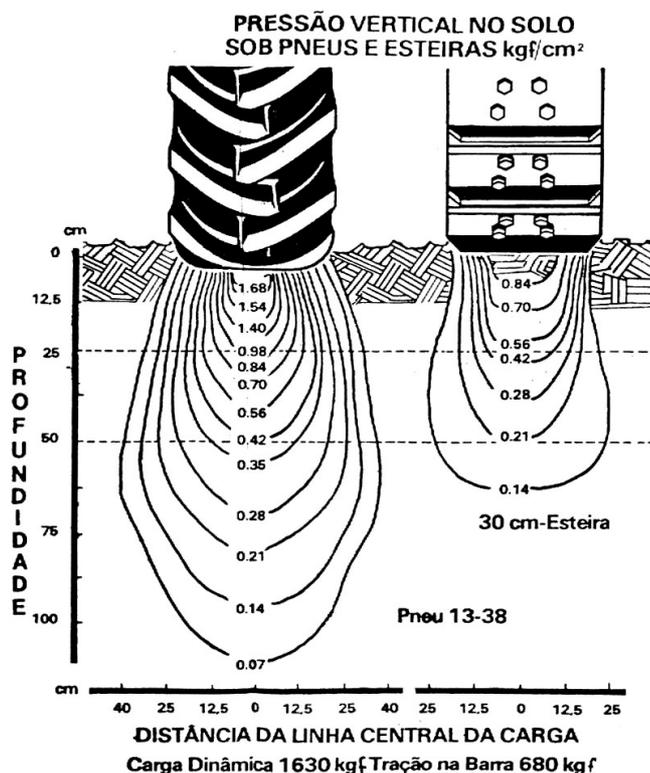


Figura 5.17 – Distribuição de tensões sob uma roda e uma esteira.

Os efeitos da compactação podem ser:

- ✓ Redução da macroporosidade do solo (esmagamento das partículas do solo);
- ✓ Redução do sistema radicular das culturas;
- ✓ Erosão superficial.

A eficiência da subsolagem está correlacionada com o teor de água presente no solo; quanto menor a umidade do solo, maior a eficiência da subsolagem. Ela requer alta potência para realizar seu trabalho.

### 5.3.1. Métodos de Avaliação da Camada Compactada

- ✓ *Visual*: Linhas naturais de sulco;
- ✓ *Penetrômetro de mola*: Possui pontas cônicas com ângulo de base variando de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ , sendo o primeiro para solos argilosos e, o segundo, para solos arenosos.

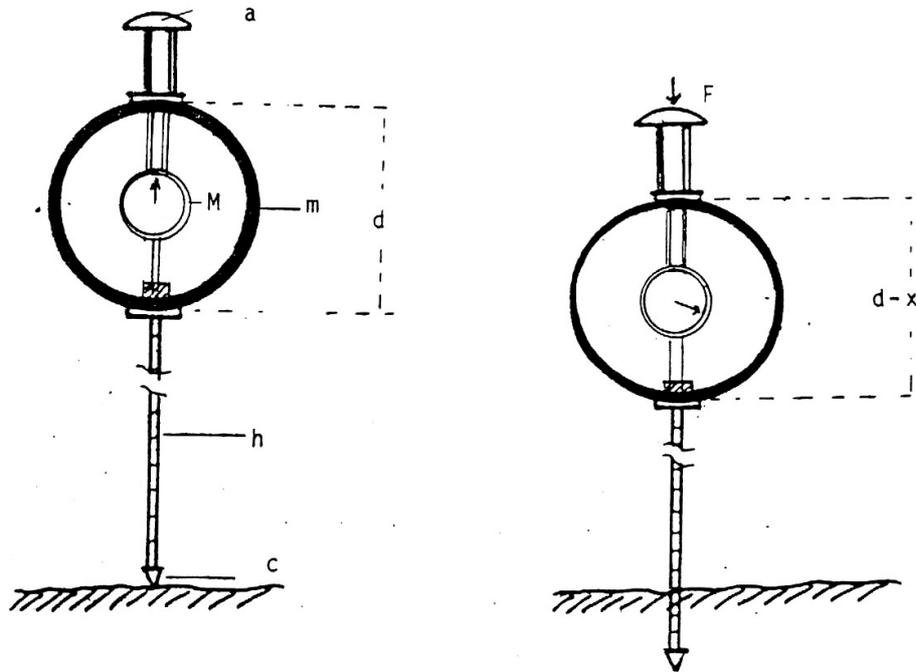


Figura 5.18 – Penetrômetro de mola. Constituição: a) empunhadura onde se aplica uma força  $F$ , m) mola circular, M) micrômetro, d) diâmetro da mola sem compressão, d-x) diâmetro da mola com uma compressão  $x$ , h) haste, c) ponta do penetrômetro.

- ✓ *Penetrômetro de Impacto Stolf*:

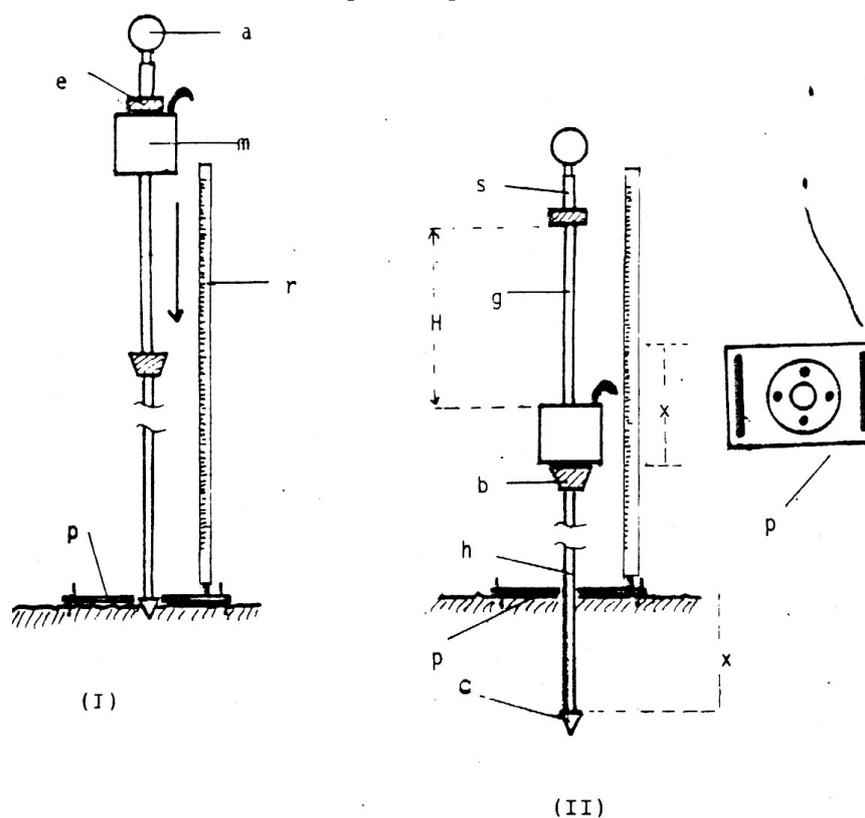


Figura 5.19 – Penetrômetro de impacto. (I) condição inicial, (II) condição após a queda da massa (m) com uma penetração (x) no perfil. a) manopla, g) guia da massa, b) batente de impacto da massa, h) haste, c) cone, H) altura de queda de massa, r) régua (opcional), e) limitador superior, p) placa de referência de profundidade de penetração (opcional).

### → EXEMPLO 5.1

Determinação da compactação com penetrômetro de impacto para uma área qualquer.

Profundidade (cm)	Nº de Impactos	Valores Calculados
00 – 09	1	1,11
09 – 13	2	5,00
13 – 17,5	2	3,64
17,5 – 23	2	3,33
23 – 29	2	3,33
29 – 35	2	3,33
35 – 41	2	1,74

Para a obtenção dos Valores Calculados, foi efetuado o seguinte cálculo:

Por exemplo, se com 2 impactos o aparelho penetrou 23 – 29 cm, então o Valor Calculado é de:

$$\frac{2}{29 - 23} \cdot 10 = \frac{20}{6} = 3,33$$

Conclui-se que quanto maior o valor encontrado, maior será a resistência à penetração.

✓ *Penetrógrafo:*

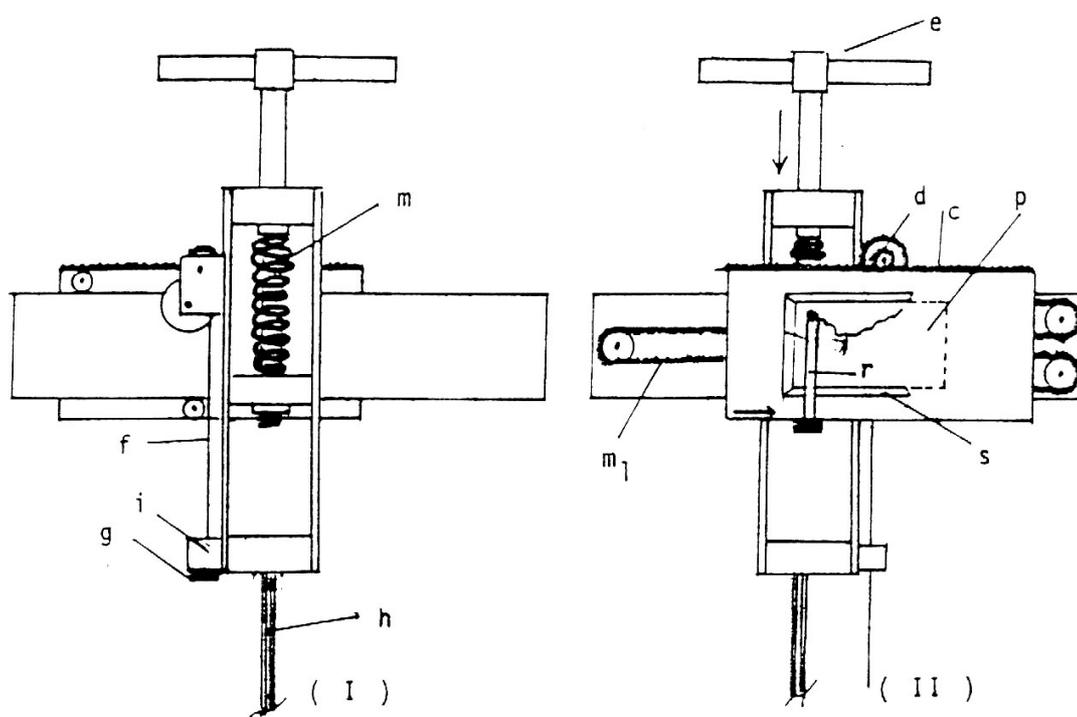


Figura 5.20 – Penetrógrafo. Constituição: e) empunhadura, m) mola, f) barbante, i) ímã, g) guia de referência, m<sub>1</sub>) mola para deslocamento lateral da placa frontal, h) haste de penetração, c) cremalheira, d) engrenagens, p) papel onde será registrado o gráfico, s) moldura para suporte do papel, r) haste de suporte da caneta. (I) vista traseira, (II) vista frontal.

### 5.3.2. Produção Horária

a) *Variável espaçamento entre hastes*

- para subsoladores com hastes normais

$$e = p \quad (p < 70 \text{ cm}) \quad (5.1)$$

- para subsoladores com hastes com asas

$$e = 1,5 \cdot p \quad (p > 70 \text{ cm}) \quad (5.2)$$

onde:

$e$  = espaçamento entre hastes (cm);

$p$  = profundidade de penetração das hastes (cm).

b) *Número de hastes dos subsoladores*

É dado pela Equação (5.3):

$$n = \frac{HP}{0,8 \cdot p} \quad (5.3)$$

onde:

$n$  = número de hastes;

$HP$  = potência do trator utilizado na operação de subsolagem (HP);

$p$  = profundidade de penetração das hastes (cm).

c) *Largura efetiva de trabalho*

É dada pela Equação (5.4):

$$L = n \cdot e \quad (5.4)$$

onde:

$L$  = largura efetiva de trabalho (cm);

$n$  = número de hastes;

$p$  = profundidade de penetração das hastes (cm).

d) *Tração requerida durante a operação*

É dada pela Equação (5.5):

$$Tr = R \cdot p \cdot n \quad (5.5)$$

onde:

$Tr$  = tração requerida (kgf . cm);

$R$  = resistência do solo (kgf);

$p$  = profundidade de penetração das hastes (cm).

$n$  = número de hastes;

e) *Produção horária*

É dada pela Equação (5.6):

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{10} \quad (5.6)$$

onde:

$P$  = produção horária (ha/h);

$L$  = largura de trabalho (m);

$v$  = velocidade média (km/h);

$Ef$  = eficiência de trabalho.

### → EXEMPLO 5.2

Deseja-se efetuar uma subsolagem utilizando um trator de esteiras, marca Caterpillar modelo CAT D6C, com 140 HP. Após levantamentos na área a ser subsolada, verificou-se que a camada compactada estava situada a 50 cm de profundidade. Utilizou-se nesta operação um subsolador de hastes normais. Determine o rendimento da operação sabendo que a resistência do solo à penetração é de 33,0 kgf/cm<sup>2</sup>. Considere uma camada arável acima da camada compactada de 10 cm.

Dados  $Ef = 80\%$  e  $v = 4$  km/h.

Solução:

a) *Comprimento da haste*

- Tem-se comprimento da camada arável (10 cm) e comprimento da camada compactada (50 cm). Então:

Comprimento da haste = 60 cm.

b) *Espaçamento entre as hastes (e)*

- Pela Equação (5.1),  $e = p$ , já que a profundidade de penetração das hastes não foi superior a 70 cm.

c) *Nº de hastes (n)*

Pela Equação (5.3), tem-se:

$$n = \frac{HP}{0,8 \cdot p} = \frac{140}{0,8 \cdot 60} = 2,92$$

$$n = 3 \text{ hastes}$$

d) *Produção (ha /h)*

Pela Equação (5.4), tem-se:

$$L = n \cdot e = 3 \cdot 60$$

$$L = 180 \text{ cm}$$

E pela Equação (5.6):

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{10} = \frac{1,80 \cdot 4 \cdot 0,8}{10}$$

$$P = 0,576 \text{ ha/h}$$

### → EXEMPLO 5.3

Realizar a operação de subsolagem utilizando um trator Valmet 1580 4X4, com 143 HP, considerando a camada compactada localizada a 70 cm de profundidade. Determine a produção de subsolagem. Considere uma camada arável acima da camada compactada de 10 cm.

Dados  $Ef = 80\%$  e  $v = 4,3 \text{ km/h}$ .

#### Solução:

##### a) Comprimento da haste

- Tem-se comprimento da camada arável (10 cm) e comprimento da camada compactada (70 cm). Então:

Comprimento da haste = 80 cm.

##### b) Espaçamento entre as hastes ( $e$ )

- Pela Equação (5.2),  $e = 1,5 \cdot p$ , já que a profundidade de penetração das hastes foi superior a 70 cm.

##### c) Nº de hastes ( $n$ )

Pela Equação (5.3), tem-se:

$$n = \frac{HP}{0,8 \cdot p} = \frac{14}{0,8 \cdot 80} = 2,23$$

$$n = 2 \text{ hastes}$$

##### d) Produção (ha /h)

Pela Equação (5.4), tem-se:

$$L = n \cdot e = n \cdot 1,5 \cdot p = 2 \cdot 1,5 \cdot 80$$

$$L = 240 \text{ cm}$$

E pela Equação (5.6):

$$P = \frac{L \cdot v \cdot Ef}{10} = \frac{2,40 \cdot 4,3 \cdot 0,8}{10}$$

$$P = 0,826 \text{ ha/h}$$

---

---

## 6. Máquinas para Semeadura

Definição: São sistemas mecânicos responsáveis pela deposição de órgãos vegetativos no solo.

A SAE define 3 formas de deposição dos órgãos vegetativos.

- a) *Semeadoras*. Depositam sementes finas e grossas (arroz, milho, feijão, soja, trigo, etc).
- b) *Plantadoras*. Responsáveis pelo plantio de órgãos vegetativos considerados tubérculos (batatas, mandioca e cana).
- c) *Transplantadoras*. São máquinas cuja função é de plantar mudas (cebola, eucaliptos e arroz).

### 6.1. Classificação das Semeadoras

As semeadoras classificam-se, segundo a ABNT, quanto:

- a) *À forma de distribuição*.
  - ✓ *Em linha – contínua*. As sementes são distribuídas em linha, porém não existe uma precisão em suas deposições;
  - ✓ *Em linha – de precisão*. As sementes são dosadas, de preferência uma a uma, e o espaçamento entre elas é bastante uniforme;
  - ✓ *Em linha – em quadrado*. Não são mais utilizadas. A principal dificuldade na utilização é a necessidade de se colocar guias no terreno, para o acionamento de mecanismos dosadores, o que aumenta a mão-de-obra;
  - ✓ *Em linha – em grupos*. Pode ser utilizado quando se requer uma maior profundidade de semeadura, ou quando o poder germinativo das sementes é muito baixo.
- ✓ *A lança – aéreas e terrestres*. As sementes são jogadas aleatoriamente sobre a superfície a ser semeada. Elas podem ser umedecidas para aumentar seu peso e permitir o lançamento a distâncias maiores.
  - b) *À forma de Acionamento*.

- ✓ *Manual.* São acionadas pelo próprio operador;

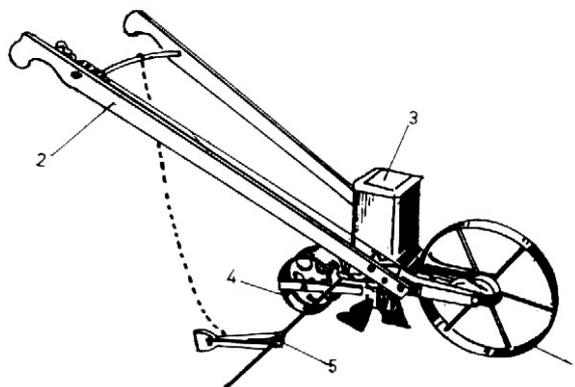


Figura 6.1 – Semeadora manual. Constituição: 1 – Roda de terra, 2 – Rabiça, 3 – Depósito de sementes, 4 – Roda compactadora, 5 – Marcador de linhas.

- ✓ *De tração animal.* São acionadas por animais. No Brasil, normalmente esse são mulas ou bois;

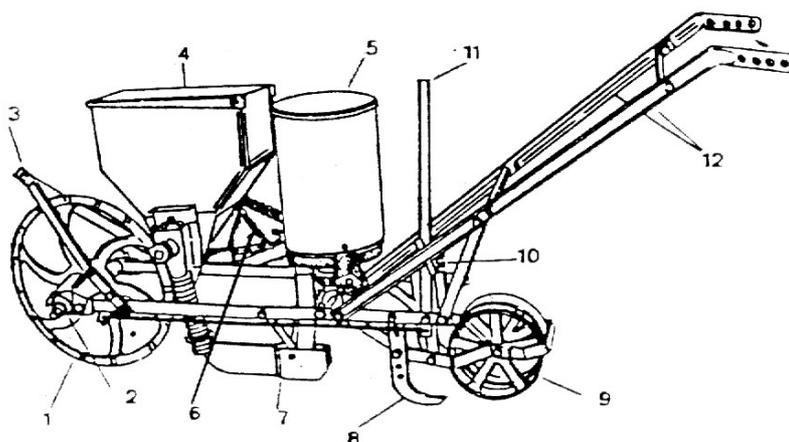


Figura 6.2 – Semeadora de tração animal. Constituição: 1 – Roda de acionamento, 2 – Engrenagem motora, 3 – Engate, 4 – Depósito de adubo, 5 – Depósito de semente, 6 – Corrente, 7 – Facão, 8 – Cobridor de sementes, 9 – Roda compactadora, 10 – Regulagem de profundidade, 11 – Alavanca para controle de acionamento.

- ✓ *Motorizadas.* Possuem dosadores acionados por motor de combustão interna independente. O deslocamento da semeadora é feito através de uma outra forma de acionamento;
- ✓ *Tratorizadas.* São semeadoras acionadas e deslocadas pelos tratores agrícolas. Elas podem ser montadas (acopladas ao sistema hidráulico de levantamento de três pontos),

semi-montadas (acopladas apenas nos dois pontos inferiores do sistema hidráulico de levantamento de três pontos) e de arrasto (acoplada em um único ponto ao trator, normalmente à barra de tração).

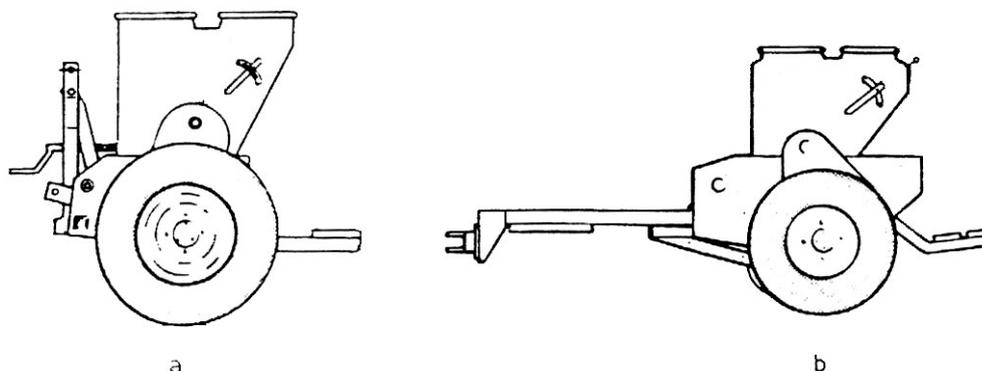


Figura 6.3 – Semeadoras-adubadoras tratorizadas. A)Montada, B) De arrasto.

c) *Ao mecanismo dosador de semente.*

Tem por função dosar as sementes requeridas e conduzi-las a uma abertura de saída. Podem ser classificadas como segue:

**Em linha:**

- ✓ *Disco perfurado – vertical, horizontal e inclinado;*
- ✓ *Correia perfurada;*
- ✓ *Discos alveolados;*
- ✓ *Dedos prensadores;*
- ✓ *Orifício regulador;*
- ✓ *Pneumático – mais utilizado atualmente.*

**A lanço:**

- ✓ *Rotor centrífugo;*
- ✓ *Canhão centrífugo;*
- ✓ *Difusor – não mais utilizado (sistema que utiliza rosa sem-fim).*

d) *Ao material dosado.*

- ✓ *Semeadora*. Apenas as sementes são dosadas e colocadas no solo;
- ✓ *Semeadora-adubadora*. Além das sementes, a máquina dosa e coloca no solo o adubo a ser utilizado na cultura;
- ✓ *Semeadora-adubadora-calcareadora*. Além das sementes e adubos, a máquina dosa e coloca o calcário destinado a corrigir a acidez do solo.

## 6.2. Fatores que Afetam a Semeadura

- a) *Quantidade de sementes*. É considerado fator básico para o início de uma cultura. Ela depende da fertilidade do solo, quantidade de umidade disponível, controle de ervas, cultivo e colheita. A previsão da quantidade de sementes necessária por unidade de área pode ser obtida pela equação (6.1).

$$\text{Número}_\text{sementes} / \text{área} = \frac{\text{número}_\text{plantas}_\text{recomendado} / \text{área}}{\% \text{ germinação} \cdot \% \text{ sobrevivência} \cdot \% \text{ pureza}} \quad (6.1)$$

- b) *Uniformidade das sementes*. É necessário para que possam ser preparadas e manuseadas pelos mecanismos dosadores.
- c) *Uniformidade de cobertura das sementes*. Em relação ao solo, deve-se considerar o preparo e tipo do solo para semeadura, teor de umidade, temperatura, compactação do solo sobre as sementes e formação de crostas. Em relação à máquina a ser utilizada, é de grande importância o tipo de dispositivo de cobertura (apresenta cerca de 7% de perda por injúria mecânica\*) e dosador de sementes (apresenta cerca de 3 a 4% de perda por injúria mecânica).

\* = injúria mecânica significa quebra das sementes pelos componentes da máquina e por pressão entre as mesmas.

## 6.3. Constituição das Semeadoras

- ✓ Chassi
  - pivotado;
  - bi-articulado;
    - pantógrafo.
  
- ✓ Dosadores de semente
  - discos perfurados;
  - correias perfuradas;
  - dedos prensos;
  - pneumáticos.
  
- ✓ Dosadores de adubos
  - rotores dentados;
  - discos rotativos horizontais;
  - rotor vertical impulsor;
  - correias ou correntes;
  - cilindros canelados;
  
- ✓ Sistema de sulcadores
  - sulcador de enxada;
  - sulcador de facão;
  - sulcador de disco.
  
- ✓ Rodas de controle e profundidade
  - de borracha com saliência frontal;
  - de ferro;
  - de borracha com alívio central.
  
- ✓ Sistema de acionamento das semeadoras
  - de engrenagem;
  - de engrenagem e correntes;
  - de eixo;
  - mistos.

#### **6.4. Cálculo Utilizado para Semadura**

a) *Vazão prevista*

$$Q_p = \frac{v \cdot L \cdot P \cdot E}{600.000 \cdot v_t} \quad (6.2)$$

onde:

- $Q_p$  = vazão prevista, (g/min);
- $v$  = velocidade operacional no campo, (km/h);
- $L$  = lotação ou população, (plantas/ha);
- $P$  = peso de 100 sementes, (g);
- $E$  = espaço entre linhas da cultura, (m);
- $v_t$  = vitalidade das sementes no solo, (%).

### → EXEMPLO 6.1

Os dados necessários que deve ser de conhecimento prévio para a realização de uma semeadura são exemplificados a seguir.

*I – Dados Básicos:*

- Propriedade: Fazenda “X”;
- Cultura a ser implantada: milho;
- Área a ser utilizada: 10 ha;
- Lotação da cultura: 50.000 plantas/ha;
- Espaçamento da cultura: 1,0 metro;
- Sistema de semeadura: em linhas;
- Profundidade de plantio: 14 cm.

Características das sementes:

- Pureza: 98%;
- Poder germinativo: 85%;
- Teor de umidade: 13%;
- Peso de 100 sementes: 28 gramas;
- Peso volumétrico: 830 g/litro.

Características operacionais:

- Marcha do trator: 3º reduzida (1.700 rpm);

- Velocidade operacional: 5,0 km/h;
- N° de linhas de semeadura: 3.

*II – Dados Operacionais:*

- Vitalidade das sementes no solo: 74,97%;
- Sementes por metro de sulco:
  - em peso: 1,87 gramas;
  - em número: 6 a 7 sementes;
  - vazão prevista: 156 g/min
  - peso das sementes/ha: 18,7 kg;
  - peso total das sementes a ser utilizado: 187 kg;
  - número de reabastecimento da máquina: 11 a 12.

Solução:

Para a obtenção dos dados operacionais, descritos anteriormente, foram realizados os cálculos seguintes.

Utilizando a Equação (6.2), tem-se que a vazão prevista é de:

$$Q_p = \frac{v \cdot L \cdot P \cdot E}{600.000 \cdot v_t}$$

$$Q_p = \frac{5,0 \cdot 50.000 \cdot 28 \cdot 1}{600.000 \cdot 74,97}$$

$$Q_p = 156 \text{ g/min}$$

a) *Peso das sementes.*

Como 5 km/h = 83,33 m/min, e  $Q_p = 156 \text{ g/min}$ , então:

$$Peso = \frac{156}{83,33}$$

$$Peso = 1,87 \text{ g/m}$$

b) *Número de sementes.*

Como o peso de 100 sementes é de 28 g, tem-se que o peso de 1 semente é de 0,28g.

Se o peso das sementes é de 1,87 g/m, então:

$$N = \frac{1,87}{0,28}$$

$$N = 6 \text{ sementes/m}$$

Considerando que 1 ha possui 100 linhas espaçadas de 1 m e cada linha com 100 m de comprimento. Portanto, a distância percorrida por cada máquina será de 10.000 m.

O peso de sementes / ha é de:

$$\text{Peso/ha} = 10.000 \cdot 1,87$$

$$\text{Peso / ha} = 18,7 \text{ kg}$$

Mas como a área a ser utilizada é de 10 ha:

$$\text{Peso} = 187 \text{ kg}$$

c) *Número de reabastecimento*

Como o peso volumétrico é de 830 g/litro e considerando um reservatório de 20 litros, tem-se que o peso das sementes contidas no reservatório é de:

$$P = 830 \cdot 20$$

$$P = 16,6 \text{ kg}$$

O peso a ser utilizado, calculado anteriormente é de 187 kg, então o número de reabastecimento é:

$$N = \frac{187}{16,6}$$

$$N = 11,26 \text{ (de 11 a 12 reabastecimentos)}$$

## 7. Máquinas para Colheita

A colheita é a última operação realizada no campo, no processo de produção agrícola. Nos primórdios da agricultura, toda a operação de colheita era realizada manualmente. A operação de colheita manual, da mesma forma que os demais processos manuais, é de baixa capacidade operacional e, portanto, viável economicamente apenas em pequenas propriedades, onde a finalidade principal da produção é subsistência do agricultor e sua família.

Com o aumento das populações e a necessidade de se produzir mais alimentos, com um número de pessoas empregadas na agricultura cada vez menor, as operações de colheita começaram a ser mecanizadas.

A primeira colhedora de cereais foi construída em Michigan, EUA, em 1836, por Moore e Hascaii. Esta colhedora não obteve do sucesso em Michigan, porém foi utilizada com sucesso na Califórnia em 1854. Nesse mesmo estado, em 1880, iniciou-se a produção em escala comercial de colhedoras.

### 7.1. Classificação das Colhedoras

As colhedoras classificam-se em:

*a) Automotrizes (combinadas)*

São máquinas autopropelidas que realizam todas as operações necessárias à colheita.

*b) Montadas*

São dependentes de um trator agrícola para a realização de suas funções.

*c) De Arrasto*

Possuem um motor a auxiliar independente ou são acionadas pela tomada de potência e tracionadas pela barra de tração por um trator.

### 7.2. Colhedoras de Cereais

A colheita de cereais envolve as etapas de corte, alimentação, trilha, separação e limpeza.

- a) *Mecanismos de Corte*. Eles se diferem para cada tipo de cereal a ser colhido. Eles estão contidos em uma plataforma de corte, cujos elementos principais são os separadores, molinete, barra de corte e condutor helicoidal.

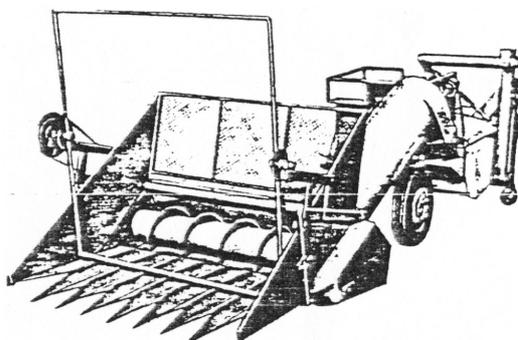


Figura 7.1 – Plataforma de corte de uma combinada para cereais.

- b) *Mecanismos de Alimentação*. É uma esteira transportadora formada de correntes longitudinais, com taliscas transversais, as quais raspam o material sobre o fundo trapezoidal, elevando-o e colocando-o no mecanismo de trilha.
- c) *Mecanismos de Trilha*. São três tipos: cilindro de dentes e côncavo (utilizado nas colhedoras de arroz), cilindro de barras (utilizado para as demais culturas) e côncavo e cilindro axial (dentes dispostos helicoidalmente sobre a superfície do cilindro).

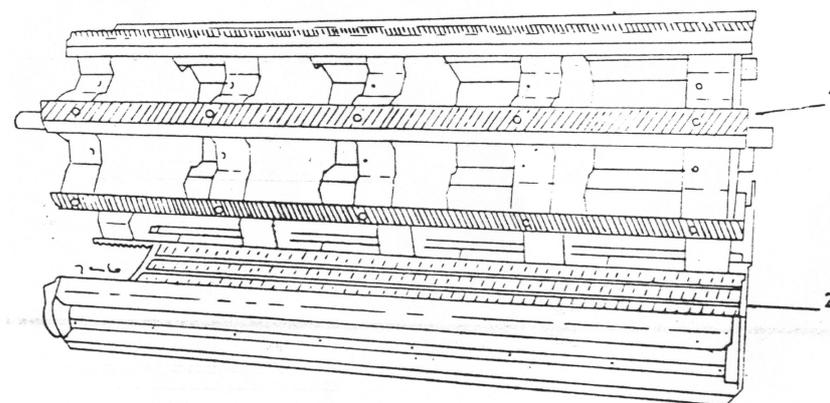


Figura 7.2 – Cilindro e côncavo das colhedoras: 1- cilindro; 2- côncavo.

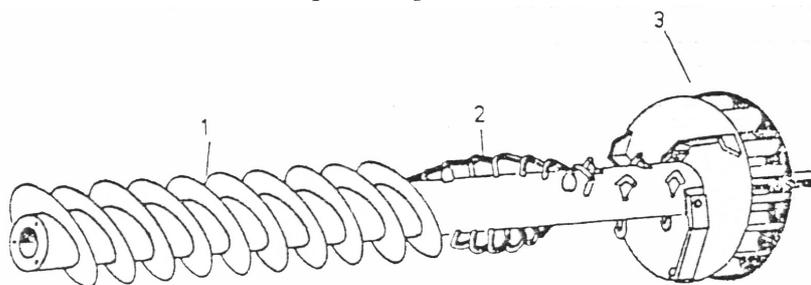


Figura 7.3 – Cilindro axial de colhedora: 1- condutor helicoidal; 2- dentes; 3- ventilador.

Atrás do cilindro trilhador pode existir, em algumas colhedoras, um cilindro batedor, cuja principal função é retirar a palha que eventualmente fique retida no cilindro trilhador.

- d) *Mecanismos de Separação.* Age na separação de grãos debulhados, palha triturada e grãos não-debulhados. É feita em três lugares diferentes: na grelha formada pela barras do côncavo, na grelha sob o cilindro batedor e no saca-palhas.
- e) *Mecanismos de Limpeza.* Os principais mecanismos de limpeza nas colhedoras são: peneira superior (localizada sob o saca-palhas), peneira inferior (separa as sementes dos pequenos resíduos que atravessam com elas na peneira superior) e ventilador.

## 8. Pulverizadores

Definição: São máquinas nas quais os líquidos são bombeados sob pressão através de orifícios (bicos) e explodem ao serem lançados contra o ar, por decompressão.

Função dos bicos: Subdividir o líquido em gotículas e distribuí-las, de forma uniforme, sobre toda superfície (área foliar) a ser tratada.

Classificação das máquinas utilizadas no tratamento fitossanitário, de acordo com o tipo de veículo utilizado (característica do produto: sólido, líquido ou gasoso):

Veículo	Forma de aplicação	Tipo de máquina	Tipo de trabalho
Sólido	Em pó	Polvilhadoras	Manual, motorizado, aéreo
	Em grânulos	Granuladoras	Manual, tratorizado, aéreo, animal
Líquido	Por veia líquida	Fumigadoras	Aplicação de formicidas
	Gotas (MMD > 150 $\mu$ )	Pulverizadoras	Manuais, costais, motorizados, aérea
Gasoso	Gotas 50 – 150 $\mu$	Atomizadoras	Tratorizadas, aéreas, manual e tratorizadas
	Gotas (MMD < 50 $\mu$ )	Nebulizadoras	

### 8.1. Tipos de Pulverizadores

- a) *Manuais.* São máquinas costais que apresentam um rendimento de 10 a 20 m<sup>2</sup>/bico.
- b) *Motorizados.* São do tipo costais motorizados, cujo bombeamento do fluido é feito por um motor 2 tempos de alta rotação. Apresentam um rendimento de 60 a 100 m<sup>2</sup>/bico.
- c) *Tratorizados.* Possuem reservatórios que variam de 400 a 5000 litros de capacidade. São montados nos três pontos ou na barra de tração e são acionados pela tomada de potência. Têm como componentes básicos: - depósitos com agitadores, - bomba, - filtros, - reguladores de pressão, - bicos.

## 8.2. Formas de Aplicação do Produto

- a) *Alto Volume*. Aplica-se 500 a 3000 litros/ha com gotas de 0,3 a 3 mm de diâmetro. Utilizam-se os Pulverizadores Costais.
- b) *Baixo Volume*. Aplica-se 10 a 150 litros/ha com gotas de 100 a 250  $\mu$  de diâmetro. Utilizam-se os Pulverizadores Tratorizados.
- c) *Ultra Baixo Volume*. Aplica-se até 5,0 litros/ha com gotas de diâmetro menor que 100 $\mu$ . Utilizam-se os Atomizadores.

## 8.3. Dimensionamento dos Pulverizadores

Os pulverizadores podem ser dimensionados pela determinação do tamanho do depósito e da capacidade da bomba. Para isso, segue as equações seguintes:

- a) *Tamanho do depósito*

$$T = \frac{L \cdot b \cdot Q}{5000} \quad (8.1)$$

onde:  $T$  = capacidade do tanque, (litros);

$L$  = comprimento da faixa a ser tratada, (m);

$b$  = largura da faixa de trabalho, (m);

$Q$  = vazão máxima dos bicos.

- b) *Capacidade da bomba*

$$P = \frac{D \cdot b \cdot v \cdot z}{600} \quad (8.2)$$

onde:  $P$  = capacidade da bomba, (kg/min);

$D$  = quantidade aplicada por hectare, (kg/ha);

$b$  = largura de trabalho, (m);

$v$  = velocidade de trabalho, (km/h);

$z$  = número de elementos de trabalho.

**Bibliografia**

- **BALASTREIRE**, Luiz Antônio. *Máquinas Agrícolas*. São Paulo: Editora Manole LTDA, 1987, 307p.
- **BARGER**, E. L. et al. *Tratores e seus Motores*. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1963, 398p.
- **CAÑAVATE**, Jaime. Ortiz. *Las Máquinas Agrícolas y su Aplicacion*. Espanha: Ediciones Mundi Prensa, 487p.
- **CAÑAVATE**, Jaime. Ortiz e **HERNANZ**, José Luiz. *Tecnica de la Mecanizacion Agraria*. Espanha: Ediciones Mundi Prensa, 1989, 3<sup>o</sup> Edição, 487p.
- **MIALHE**, Luiz Geraldo. *Manual de Mecanização Agrícola*. São Paulo: Editora Ceres, 301p.
- **MIALHE**, Luiz Geraldo. *Máquinas Motoras na Agricultura*. Volume 1. São Paulo: Editora EDUSP, 1980, 367p.
- **MIALHE**, Luiz Geraldo. *Máquinas Motoras na Agricultura*. Volume 2. São Paulo: Editora EDUSP, 1980, 367p.
- **SAAD**, Odilon. *Máquinas e Técnicas de Preparo Inicial do Solo*. São Paulo: Livraria Nobel S. A., 4<sup>o</sup> Edição, 1986, 98p.

**Anexos**