

**CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE TEORIA DE tração**

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

A potência desenvolvida por um motor de combustão interna de um equipamentos de tração é utilizada para:

- acionamento de equipamentos à TDF;
- trabalhos de tração.

Relativamente à TDF as perdas de potência motor são bastante baixas, pois dependem, quase que exclusivamente, da potência necessária para vencer o atrito da cadeia de transmissão.

Em relação à tração existem numerosos fatores consumidores de potência o que implica que a potência disponível à barra possa apresentar valores bastante inferiores aos do motor.

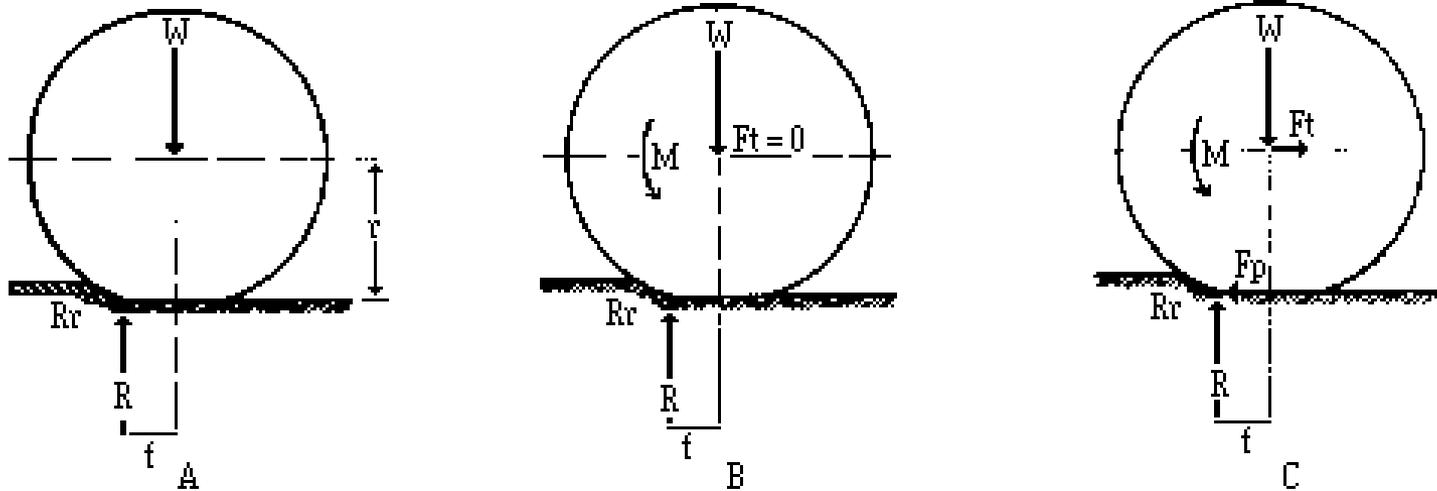
O termo tração traduz a força disponível, representada por um vetor, desenvolvida por uma roda ou um equipamento de tração, para realizar trabalho.

## Considerações gerais sobre teoria de tração

**A capacidade de tração de um trator depende de vários fatores o primeiro dos quais é o momento transmitido às rodas motrizes.**

Considerando uma roda com um dado momento ( $M$ ), deslocando-se numa superfície não rígida, a uma velocidade constante ( $v$ ) e com um dado regime (rpm), as reações do solo, que se fazem sentir a jusante do ponto de interceção do plano vertical que passa pelo centro das rodas relativamente àquele, são as representadas na figura 1C.

A figura 1A representa uma roda rebocada e a figura 1B uma roda em que o momento apenas permite vencer a inércia.



Representação do equilíbrio das forças e momentos:

- numa roda livre rebocada (A);
- numa roda em tração vencendo a resistência ao rolamento (B);
- numa roda em tração (C).

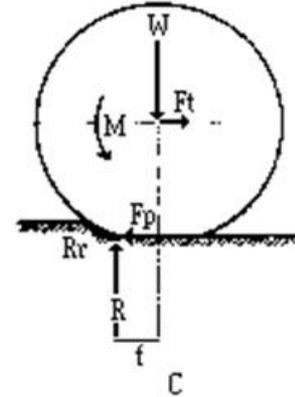
# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Relativamente à roda que desenvolve tração (figura 1C) o momento em relação ao seu centro, em condições de equilíbrio dinâmico, é dado por:

$$M - F_p * r - R * f = 0$$

em que:

- $F_p$  é a força propulsora;
- $r$  o raio dinâmico de rolamento;
- $R$  reacção do solo à carga  $W$  suportada pela roda;
- $f$  o braço do momento resistente;
- $R_r$  resistência ao rolamento.



Dividindo a equação pelo raio dinâmico de rolamento ( $r$ ) e resolvendo-a em ordem à força propulsora ( $F_p$ ) tem-se:

$$F_p = (M / r) - ((R * f) / r)$$

em que o membro da equação representado por  $M / r$  é a **força tangencial ou tração bruta** aplicada na interface pneu - solo, que resulta da interacção do momento motor e do potencial de tração do solo e, o segundo membro,  $R * f / r$ , representa a **resistência ao rolamento ( $R_r$ )**.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

A força propulsora ( $F_p$ ), considerando um trator, é geralmente designada por força de tração à barra ( $F_t$ ) pois, embora estas duas noções, tenham o mesmo valor nos tratores de quatro rodas motrizes e de rastos, são diferentes nos tratores de duas rodas motrizes porque nestes os pneus diretrizes apresentam resistência ao rolamento.

Considerando as rodas motrizes a relação entre a potência disponível para realização de trabalho ( $F_t * v$ ), ou seja, a **potência à barra ( $P_b$ )** e a **potência utilizada para o seu acionamento ( $M * rpm$ )**, ou seja, a potência no(s) eixo(s) motriz ( $P_e$ ), define-se como **eficiência de tração**:

$$E_f = P_b / P_e$$

A **eficiência à tração** traduz a **eficiência com que a roda converte a potência do eixo motriz em potência à barra**. O seu valor é nulo quando as rodas motrizes não tem movimento ou o seu escorregamento é de 100%.

O principais fatores que condicionam esta eficiência são a resistência ao rolamento, o escorregamento, o atrito e a deflexão dos órgãos de locomoção, etc.

## A resistência ao rolamento

O binário nas rodas motrizes deve permitir vencer a resistência ao rolamento ( $R_r$ ) e desenvolver ainda força de tração ( $F_t$ ) suficiente, para que o trator se desloque. Caso se esteja a trabalhar com um equipamento semimontado ou rebocado a força de tração deve ainda vencer a resistência ao rolamento deste.

O coeficiente de resistência ao rolamento ( $C_r$ ) é a relação entre a força de tração necessária para o trator se deslocar num plano horizontal e a sua massa; esta resistência depende de vários fatores, nomeadamente do tipo de solo, massa do trator e órgãos de locomoção.

Relativamente ao estado do solo a resistência ao rolamento é pequena quando a superfície daquele é firme e lisa, aumentando significativamente para as superfícies irregulares e solos com baixo poder de sustentação.

A resistência ao rolamento de um trator é determinada fazendo-o rebocar sendo o valor da resistência tanto mais elevado quanto maior for a força necessária.

Coeficientes de resistência ao rolamento de pneus (Cr)

TIPO DE SOLO	SECO	HÚMIDO
Argiloso	0,100	0,131
Argilo - arenoso	0,110	0,140
Húmico	0,105	0,145
Areno - húmico	0,100	0,150
Arenoso	0,127	0,123

FONTE: I. M. Pavelescu.

## O escorregamento

O escorregamento (E) dos órgãos de locomoção é a **perda de velocidade provocada pela força de tração**. O seu valor, que é tanto mais elevado quanto maior for esta força, é obtido pelo quociente entre a diferença da velocidade teórica ( $V_t$ ), ou seja, da velocidade determinada considerando o espaço obtido pelo produto do número de voltas da roda com o perímetro de rolamento (determinado a partir do raio dinâmico) e a velocidade real ( $V_r$ ) pela primeira, ou seja:

$$E(\%) = ((V_t - V_r) / V_r) * 100$$

O escorregamento pode também ser determinado considerando o tempo necessário para percorrer um dado trajeto com o trator a desenvolver força de tração ( $T_{ct}$ ) e sem desenvolver esta força ( $T_{st}$ ), ou seja:

$$E(\%) = ((T_{ct} - T_{st}) / T_{st}) * 100$$

O escorregamento deve resultar apenas do deslizamento das rodas e não da variação do regime motor, pelo que o regulador da bomba de injeção deve manter este constante.

## O escorregamento (cont)

As perdas por escorregamento representam perdas de potência à barra.

Mais importante que a perda de velocidade pode ser a força máxima de tração que o trator pode desenvolver, pelo que é importante conhecer o coeficiente de tração ou aderência ( $k$ ), ou seja, a relação entre a força máxima de tração à barra ( $F_t$ ) e a carga dinâmica nas rodas motrizes.

Nos tratores de 2RM a carga dinâmica é a soma da carga estática suportada pelas rodas motrizes ( $W$ ) mais a transferência de carga do eixo não motriz; neste tipo de tratores a carga no eixo não motriz não só não influencia a aderência como aumenta a resistência ao rolamento, pelo que em solos de fraca aderência estas rodas devem apoiar sobre o solo apenas o suficiente para proporcionar boa direção.

A aderência depende, para além da massa, do tipo de órgãos de locomoção, a pressão dos pneus, o tipo de solo e teor de humidade, desenho das garras dos pneus e dimensão destes, etc.

Em encosta o coeficiente de tração ou aderência ( $K_e$ ), é dado por:

$$K_e = F_t / ( W * \cos \alpha )$$

O valor de  $K_e$ , relativamente a  $K$ , é dado por:

$$K_e = K * \operatorname{tg} i$$

em que  $\operatorname{tg} i = \alpha / 100$ , sendo expresso em %;

Para uma inclinação de 30 % ( $\operatorname{tg} i = 0.3$ ) o  $\operatorname{arc} \operatorname{tg} 0.3 = 17^\circ$

Para converter % em graus = +PRODUTO(ATAN(%/100),57.296)

(1 rad =  $180 / \alpha$ )

## A força de tração:

- nos tratores de 4RM e de rastos é dada por  $F_t = K * W$ ;
- nos tratores de tração simples por  $F_t = K * W - R_r$ .

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

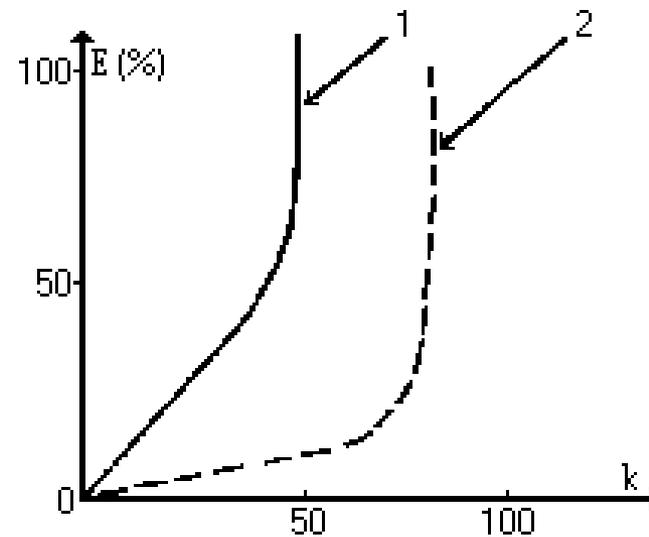
Coeficientes de tracção para pneus (**k**)

TIPO DE SOLO	SECO		HÚMIDO	
	PNEU	RASTO	PNEU	RASTO
Argila dura	0,6 - 1,0	0,4 - 0,7	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3
Argiloso duro	0,5 - 0,8	0,6 - 0,6	0,15 - 0,4	0,4 - 0,9
Arenoso firme	0,4 - 0,8	0,6 - 1,0	0,25 - 0,8	0,6 - 1,0
Argiloso esponjoso	0,4 - 0,6	0,7 - 1,0	0,15 - 0,3	0,6 - 0,9
Argiloso com trilhos (rodeiras)	0,3 - 0,5	0,7 - 1,0	0,15 - 0,3	0,6 - 0,9
Solo com cascalho duro	0,5 - 0,8	0,7 - 0,9	0,3 - 0,9	0,7 - 0,9
Cascalho não compactado	0,3 - 0,5	0,5 - 0,9	0,4 - 0,6	0,6 - 1,0
Cascalho solto	0,2 - 0,4	0,4 - 0,7	0,3 - 0,5	0,5 - 0,8
Areia solta	0,1 - 0,2	0,3 - 0,5	0,1 - 0,4	0,4 - 0,7

FONTE: X de Megille.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

A importância de conhecer o escorregamento das rodas motrizes prende-se, geralmente, com a necessidade que há de limitar o seu valor pois à medida que aumenta, cresce também o desgaste dos pneus, pelo que, embora a força de tração aumente, torna-se antieconómica a utilização do trator.



Variação do coeficiente de tração ( $k$ ) do trator com o escorregamento

1- Solo com baixa aderência 2- Solo com boa aderência

## Exemplos de várias situações de tração

- 1º - trator sem lastragem, terreno com boa aderência e baixa  $R_r$ ;
- 2º - trator sem massas, terreno com baixa aderência e elevada  $R_r$ ;
- 3º - trator com massas, terreno com boa aderência e baixa  $R_r$ ;
- 4º - trator com massas, terreno com má aderência e elevada  $R_r$ .

trator:

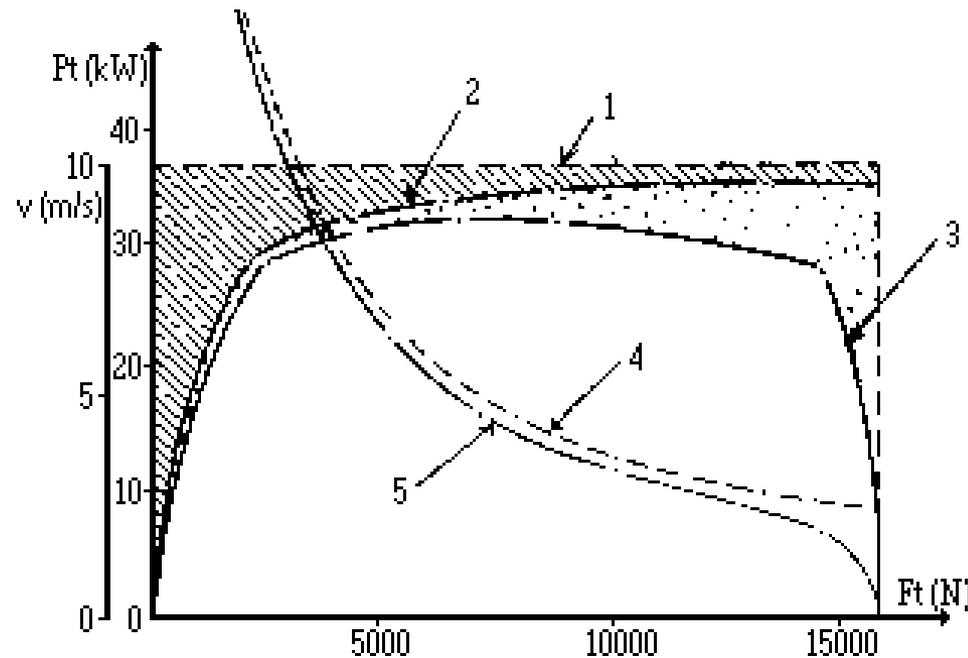
- potência no eixo motriz 36.7 kW (50 cv);
- massa sem e com lastragem 19600 N (2000 kg) e 29300 N (3000 kg),

**A potência à barra é dada pela diferença entre a potência no eixo motriz e a potência perdida por rolamento e escorregamento.**

**Potência motor - atrito na transmissão  $\Rightarrow$  potência no eixo motriz -  $R_r \Rightarrow$  potência na jante - esc  $\Rightarrow$  potência à barra.**

**A potência na jante é dada pela diferença entre a potência no eixo e a potência perdida devido à resistência ao rolamento.**

## 1ª situação



Representação da variação da potência à barra

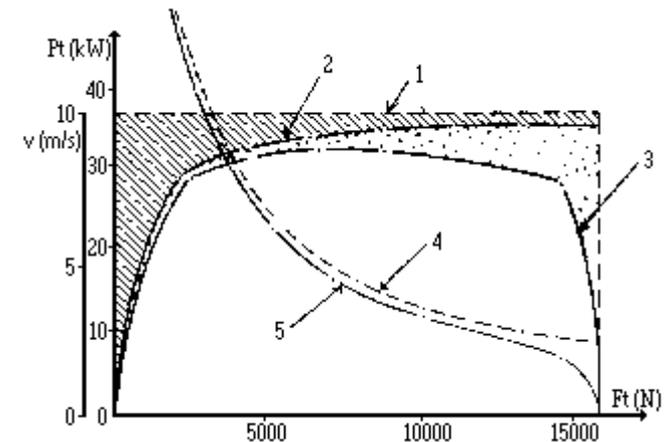
1- Potência no eixo motriz 2- Potência à jante 3- Potência à barra

4- Velocidade teórica 5- Velocidade real ( $V_r = V_t * (100 - E)$ )

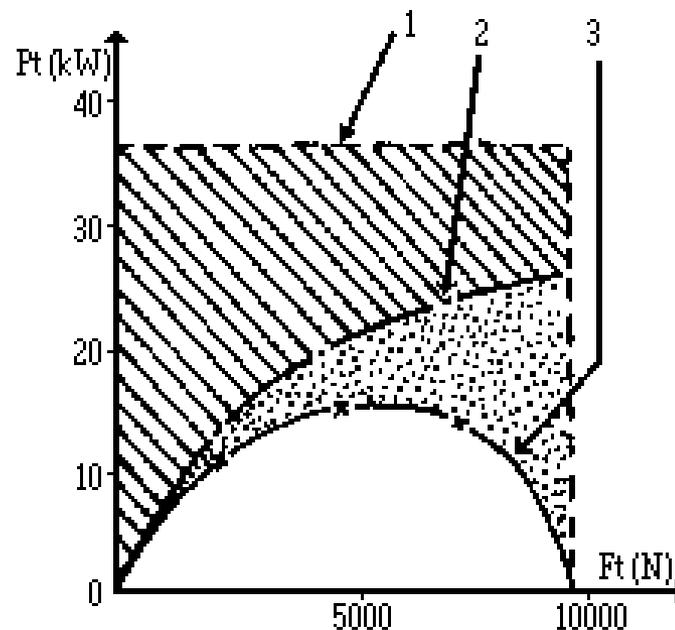
(Fonte: Achart, 1970)

Na situação 1º constata-se que:

- a força de tração é 80 % da massa do trator;
- a potência à barra é de 31.6 kW;
- a potência à barra permanece, para variações importantes de força de tração e velocidade, próxima da potência no eixo motriz;
- a potência óptima à barra é obtida para uma força de tração de 8820 N e uma velocidade de 3.5 m/s.



## 2ª situação



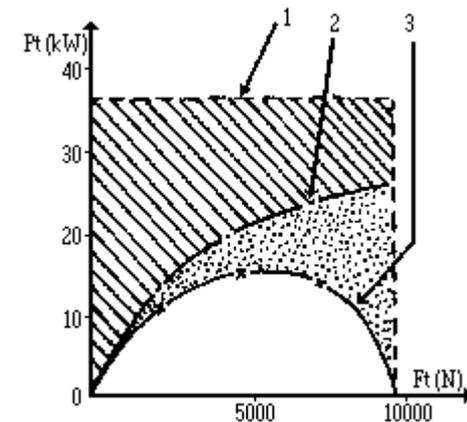
Representação da variação da potência à barra

1- Potência no eixo motriz 2- Potência à jante 3- Potência à barra

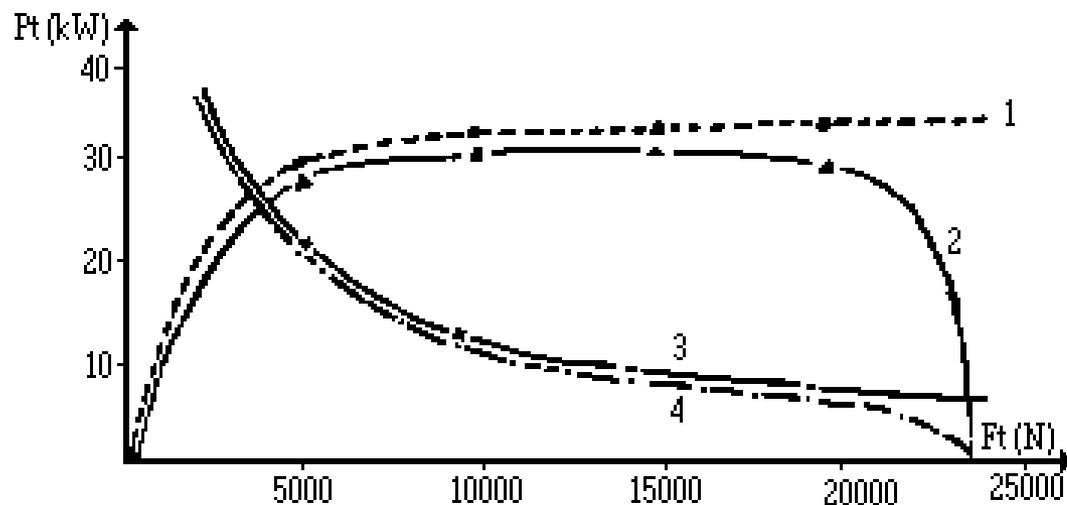
(Fonte: Achart, 1970)

Da situação 2<sup>o</sup> constata-se que:

- a potência à barra é pouco superior a 14.7 kW, sensivelmente 40% da obtida no eixo motriz;
- a potência à barra apresenta os seus valores mais elevados num intervalo de força de tração de 3920 - 6860 N a que correspondem velocidades de 4.8 e 2.1 m/s.



## 3ª situação



Representação da variação da potência à barra

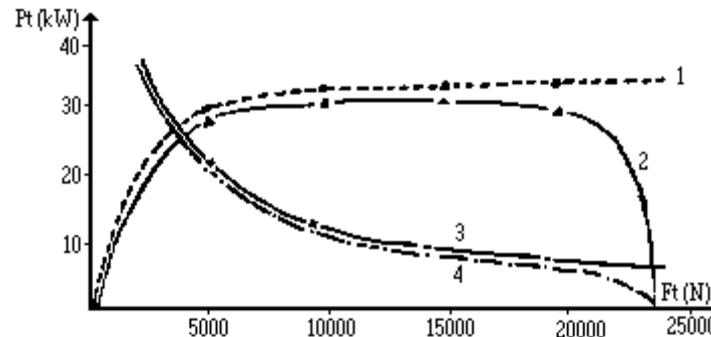
1- Potência na jante 2- Potência à barra 3- Velocidade teórica 4- Velocidade real

(Fonte: Achart, 1970)

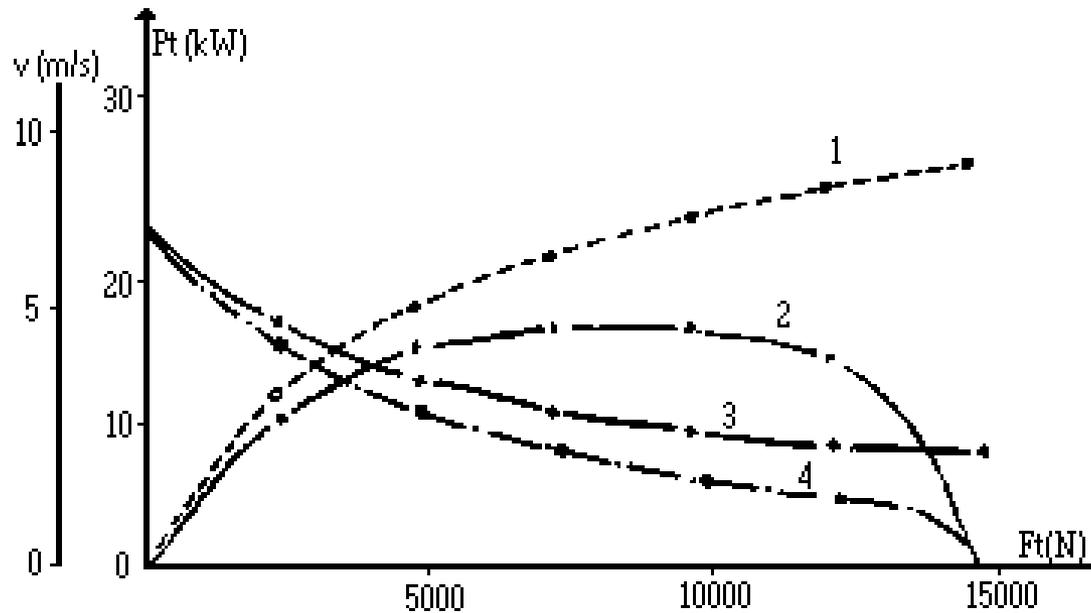
# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Da situação 3º constata-se que:

- a potência ótima à barra é semelhante à da 1ª situação;
- a potência à barra aproxima-se da determinada na jante num intervalo de forças de tração de 4420 - 20100 N, a que correspondem velocidades de 6.5 e 1.3 m/s;
- a potência ótima à barra é obtida com uma força de tração de 12280 N e a uma velocidade de 2.5 m/s.



## 4ª situação



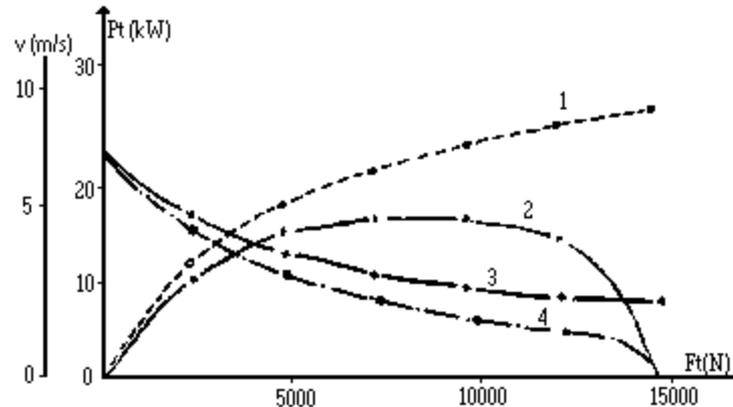
Representação da variação da potência à barra

1- Potência à jante 2- Potência à barra 3- Velocidade teórica 4- Velocidade real  
(Fonte: Achart, 1970)

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Da situação 4<sup>o</sup> constata-se que:

- a potência máxima à barra é semelhante à da 2<sup>a</sup> situação;
- a zona útil da força de tração, onde a potência à barra se aproxima da potência do eixo motriz, apresenta uma amplitude bastante importante; a velocidade está compreendida entre os 2.8 e 1.3 m/s.



# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Considerando as várias situações, pode concluir que:

- em terrenos com boa aderência e com baixa resistência ao rolamento a potência à barra mantém-se relativamente alta numa faixa de velocidades e força de tração bastante largas; estes intervalos crescem caso se proceda à lastragem dos tratores, pelo que esta operação deve ser efetuada mesmo quando se pretende utilizar o trator para transportes;
- em terrenos de fraca aderência e com elevada resistência ao rolamento o fator limitante é, geralmente, o escorregamento, pelo que a potência à barra representa cerca 30 a 40% da potência no eixo motriz; a tentativa de aumento destes valores conduz normalmente ao acréscimo do escorregamento;
- considerando que nos tratores mais recentes a tendência é para a diminuição da relação peso / potência, que varia entre os 60 e 40 Kg / cv, conforme são ou não lastrados, é de todo o interesse, especialmente em terrenos de fraca aderência, a utilização de massas adicionais e trabalhar com equipamentos montados ou semimontados.

## Principais fatores que condicionam a capacidade de tração:

- as **características do solo e órgãos de locomoção**;
- a **desmultiplicação do regime motor para as rodas motrizes**;
- a **massa do equipamento e sua distribuição nos eixos**.

Considerando a complexidade destes fatores os estudos de tração são efectuados fazendo-se algumas simplificações que não alteram, no entanto, os resultados obtidos nos ensaios.

Nestas simplificações considera-se que:

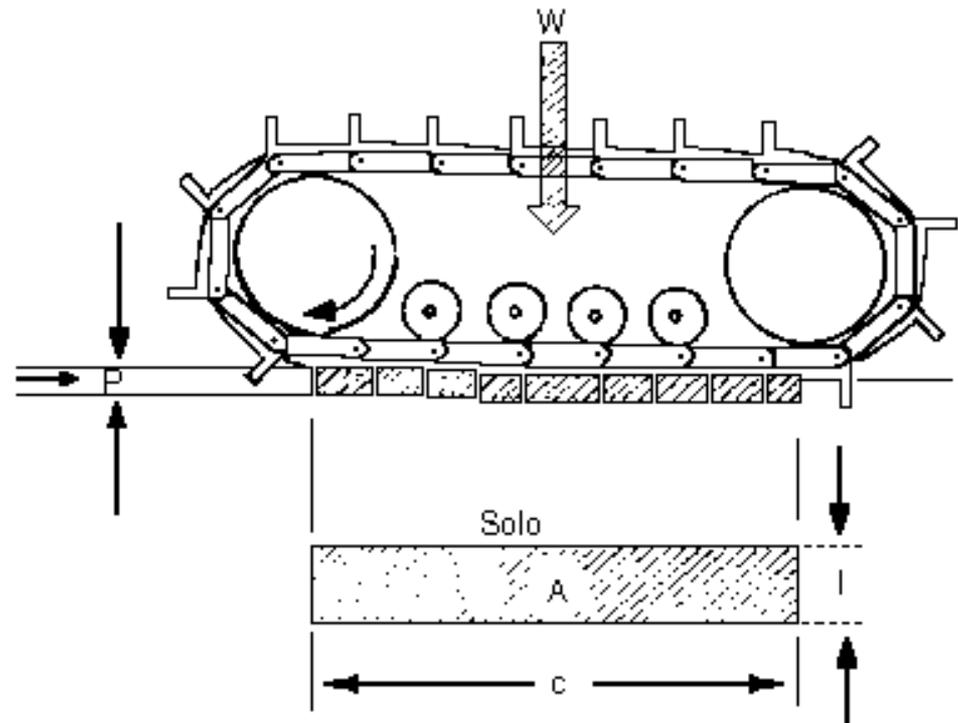
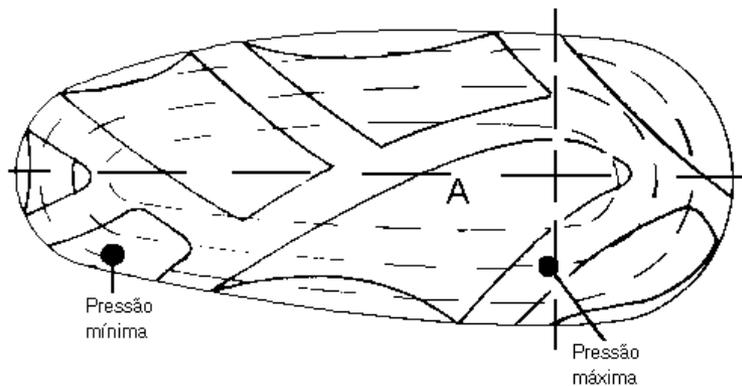
- o trator se desloca em linha recta a uma velocidade uniforme e numa situação de equilíbrio dinâmico de forças;
- a superfície do solo é plana, deformável e homogénea;
- a reacção do solo é representada pelas componentes normal e tangencial à superfície do solo;
- a força de tração desenvolve-se no plano longitudinal médio do trator e paralelamente ao solo;
- as forças menores são desprezadas.

## Importância das características do solo e órgãos de locomoção

A importância do solo e órgãos de locomoção na capacidade de tração advém do facto de o trator, para se poder deslocar, precisar que:

- o solo apresente poder de sustentação suficiente para suportar a massa do equipamento;
- o solo ofereça uma resistência ao rolamento possível de ser vencida por aquele;
- que o solo tenha um potencial de tração superior à força tangencial desenvolvida pelos órgãos de locomoção.

Para o estudo das condições de tração, tendo em consideração as características do solo e órgãos de locomoção, é necessário conhecer os fenómenos que ocorrem na interface solo - órgãos de locomoção.



Área de contacto de um pneu motriz e de um rasto, com o solo.

A- Área de contacto com o solo B- Comprimento do rasto

P- Profundidade de enterramento da sapata.

(Fonte: Mialhe, 1980)

**A área de contacto com o solo (A) dos dois sistemas de locomoção é muito diferente, o que condiciona o potencial de tração deste.**

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

**Para além da área, o potencial de tração depende de muitos outros fatores, nomeadamente a textura e estrutura do solo, que condicionam a coesão e o ângulo de atrito interno das partículas.**

Estes fatores devem permitir ao solo apresentar poder de sustentação suficiente para suportar a massa do trator e oferecer uma resistência limitada ao rolamento.

**De uma forma geral pode-se dizer que:**

- a força de tração em solos muito coesos é menos influenciada pela massa do trator do que nos solos pouco coesos, em que o potencial de tração máximo depende muito da carga a que o solo está sujeito.**

Relativamente ao estudo do **potencial de tração este baseia-se na tensão de corte**, definida pelas leis de Coulomb, sendo o seu valor dado por:

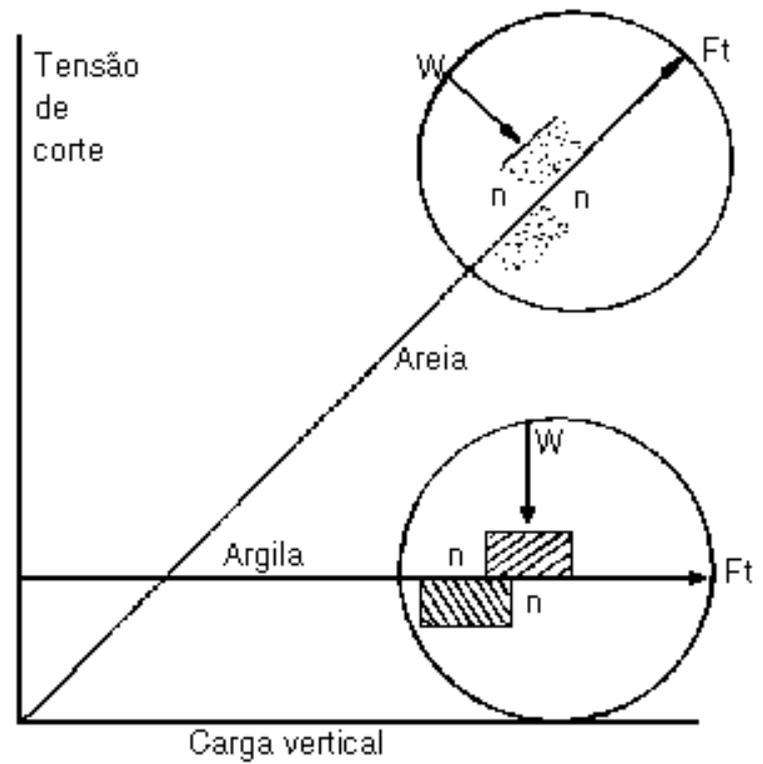
$$\tau = c + \sigma * \operatorname{tg} \phi$$

em que:

- $\tau$  é a tensão de corte, em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ ;
- $c$  o coeficiente de coesão do solo, em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ ;
- $\sigma$  a carga normal unitária, em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ ;
- $\phi$  o ângulo de atrito interno, em graus.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

A variação da tensão de corte, em função da carga a que um pneu está sujeito, para um solo arenoso e um argiloso.



Tensão de corte vs carga vertical para dois tipos de solo.  
(Fonte: Mialhe, 1980)

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Da figura anterior constata-se que a tensão de corte não se altera nos solos argilosos com o aumento de carga, pois estes têm elevada coesão mas, nos solos arenosos, à medida que a carga aumenta cresce a tensão de corte.

Aplicando a equação da tensão de corte a duas situações perfeitamente distintas como a areia seca e argila húmida, tem-se:

- para a areia seca  $c = 0$  e  $\tau = \sigma * \operatorname{tg} \phi$ ;
- para a argila húmida  $\phi = 0$  e  $\tau = c$ ;

Na 1ª situação a tensão de corte é função da carga normal, desde que permaneça constante, ou seja, que a força de tração dependa da carga nos eixos motrizes; este tipo de solos são caracterizados por apresentarem um baixo valor de coesão o que corresponde a uma massa granular semelhante à da areia seca .

Para a 2ª situação a força de tração é principalmente função da área de contacto solo - órgãos de locomoção (A); os solos em que  $\phi = 0$ , são solos muito coesos e plásticos, como os solos orgânicos húmidos.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

**Considerando estas duas situações extremas de solo pode dizer-se que:**

- **para a areia seca, a capacidade de tração depende fundamentalmente da massa do trator**, sendo muito importante a localização do centro de gravidade, a colocação das massas e sua transferência e que o tipo de órgãos de locomoção tem pouca importância;
- **para os solos pesados a capacidade de tração depende principalmente da área de contacto da interface solo - órgãos de locomoção**, sendo a massa do trator e sua distribuição sobre os eixos, pouco importante.

Relativamente aos solos com características intermédias das citadas, o potencial de tração do solo ( $F_p$ ) dependerá da sua tensão de corte e área de contacto com os órgãos de locomoção, ou seja:

$$F_p = \tau * A \quad \text{ou} \quad \tau = F_p / A$$

em que a área é definida em  $\text{cm}^2$  e a tensão de corte em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ .

A carga normal unitária é dada por:

$$\sigma = W / A$$

Das equações anteriores, tem-se:

$$F_p = A * c + W * \text{tg } \phi$$

que traduz a relação entre a força de tração potencial do solo, para um trator de massa  $W$ , em que a área de contacto com o solo é  $A$ , para as constantes do solo  $c$  e  $\phi$  (coesão e atrito interno).

**Nestas situações a escolha do tipo de órgãos de locomoção e massas nos eixos deve ser efetuada tendo em consideração que:**

- quanto mais arenoso for o solo, mais importante é o não enterramento (sustentação) do equipamento, uma vez que a tração depende da massa;**
- para solos mais pesados, deve maximizar-se a área de contacto, uma vez que a tração depende desta.**

Num solo arenoso (  $c = 0$  e  $\phi = 35^\circ$  ) a  $F_p \approx 0.7 * W$ , ou seja, o potencial de tração máximo do solo é 70% da massa do trator aplicada no eixo motriz; caso o binário seja superior ao valor necessário para vencer 70% da carga verifica-se escorregamento das rodas.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Coeficientes de coesão do solo ( $c$ ) e ângulos de atrito interno ( $\phi$ )

TIPO DE TERRENO	$c$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (graus)
Areia seca	0,0	35 - 37
Limo	0,1 - 0,3	30 - 35
Argila	0,05 - 0,5	16 - 28
Argilo - arenoso	0,2 - 0,5	26 - 30
Argilo - orgânico	0,05 - 0,5	12 - 18
Arenoso (lavrado e gradado 16 dias antes)	0,7 psi	20° 00'
Arenoso fino (lavrado 5 dias antes)	1,02 psi	20° 30'
Arenoso fino (não lavrado)	1,63 psi	42° 30'

FONTE: NUNES, A. J. C. in Curso de Mecânica dos Solos e Fundações, Edit. Globo

BARGER, E. L. *et al.*, in Tratores e seus Motores. Edit. Edgard Blucher

## Importância da **desmultiplicação do regime motor para as rodas motrizes**

O motor de um trator desenvolve um determinado binário (B) a um dado regime (rpm), que desprezando as perdas na transmissão, é convertido num binário e um regime nas rodas motrizes cujos valores dependem da relação de desmultiplicação entre o motor e estas; **a perda de binário é de  $\pm 1 - 2\%$  por cada par de carretos engrenados, pelo que, numa transmissão clássica estas perdas podem atingir os 10%.**

Para uma dada desmultiplicação (d) o binário nas rodas motrizes, não considerando as perdas, é dado por  $B * d$ , sendo o regime dado pelo quociente entre o regime motor e o coeficiente de desmultiplicação.

**Assim, para uma desmultiplicação grande, obtida pela utilização das relações de transmissão mais baixas, o binário disponível nas rodas é elevado mas a velocidade é baixa e inversamente para uma desmultiplicação mais pequena.**

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Considerando os dois extremos da desmultiplicação das relações de transmissão constata-se a **importância da existência de um número de relações suficientemente grande para que se disponha da combinação que permita obter um binário suficiente para realização de um trabalho à velocidade mais alta possível.**

Por **exemplo**, considerando que uma dada relação de transmissão permite obter uma força de tração de 10000 N e que com a relação imediatamente a seguir, em que a velocidade é dupla da anterior, a força é de 5000 N, caso o trabalho que se pretende efetuar necessite de uma força de tração de 5500 N, apenas se pode utilizar a 1<sup>o</sup> relação de transmissão e portanto uma velocidade inferior (50%) à permitida por esta última.

A presença de uma terceira relação de transmissão intercalada entre aquelas duas seria muito importante pois permitiria desenvolver a força de tração necessária e obter um rendimento em trabalho bastante superior.

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Rendimento à tracção ( $\eta_t$ ) (potência à barra / potência à TDF)

Condições de superfície do solo	Força de tracção baixa (Ft= 10 % da massa do tractor)	Força de tracção média	Força de tracção elevada (sem escor-regamento excessivo)
Betão	0.75	0.85	0.90
Superfície dura, não mobilizada	0.60	0.75	0.80
Superfície mediamente dura, mobilizada	0.40	0.55	0.65
Superfície de um solo recentemente mobilizado	0.25	0.4	0.45

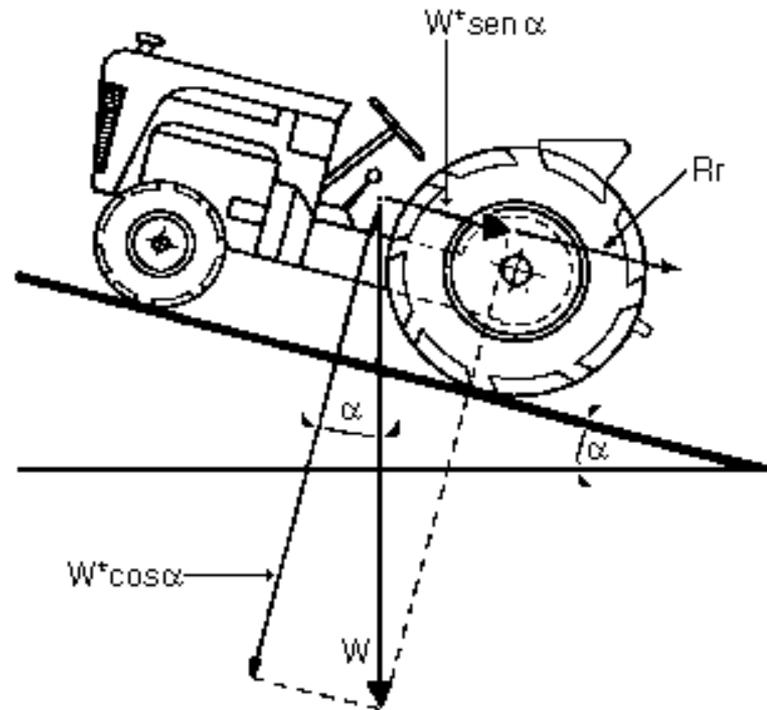
(Fonte: Hunt, D., 1977)

Importância da distribuição de massas na capacidade de tração

Considerando um trator, **para que este se desloque é necessário vencer, ao nível de cada roda, o atrito entre esta e o solo, que é função, entre outros fatores, da carga a que aquelas estão sujeitas, o tipo de pneus e as condições do próprio solo.**

Para além destes fatores é necessário considerar se os equipamentos de deslocam em plano horizontal ou inclinado, pois, nesta última situação, **a resistência ao rolamento é acrescida da componente da massa paralela à inclinação, ou seja, de  $W \sin \alpha$ .**

Como se pode observar na figura seguinte, a força de tração está diretamente relacionada com a carga suportada pelas rodas motrizes, e é limitada quer pelo trator quer pela possibilidade que o solo tem de suportar a carga dos equipamentos.



Representação das forças desenvolvidas para deslocar um trator num plano inclinado.

(Fonte: CEMAGREF, 1974)

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Considerando que  $W1$  e  $W2$  são as massas suportadas pelo eixo traseiro e dianteiro do trator, tem-se:

- em terrenos planos:

$$k * W1 > (W1 + W2) * Cr;$$

- em terrenos inclinados:

$$k * W1 * \cos \alpha > (W1 + W2) * (Cr * \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$k * W1 > (W1 + W2) * (Cr + \operatorname{tg} \alpha)$$

Esta última expressão é igual a:

$$W1 * [k - (Cr + \operatorname{tg} \alpha)] > W2 * (Cr + \operatorname{tg} \alpha);$$

que é verdadeira quando:

$$k - (Cr + \operatorname{tg} \alpha) > 0$$

**Cr- coeficiente de rolamento**

Considerando a expressão:

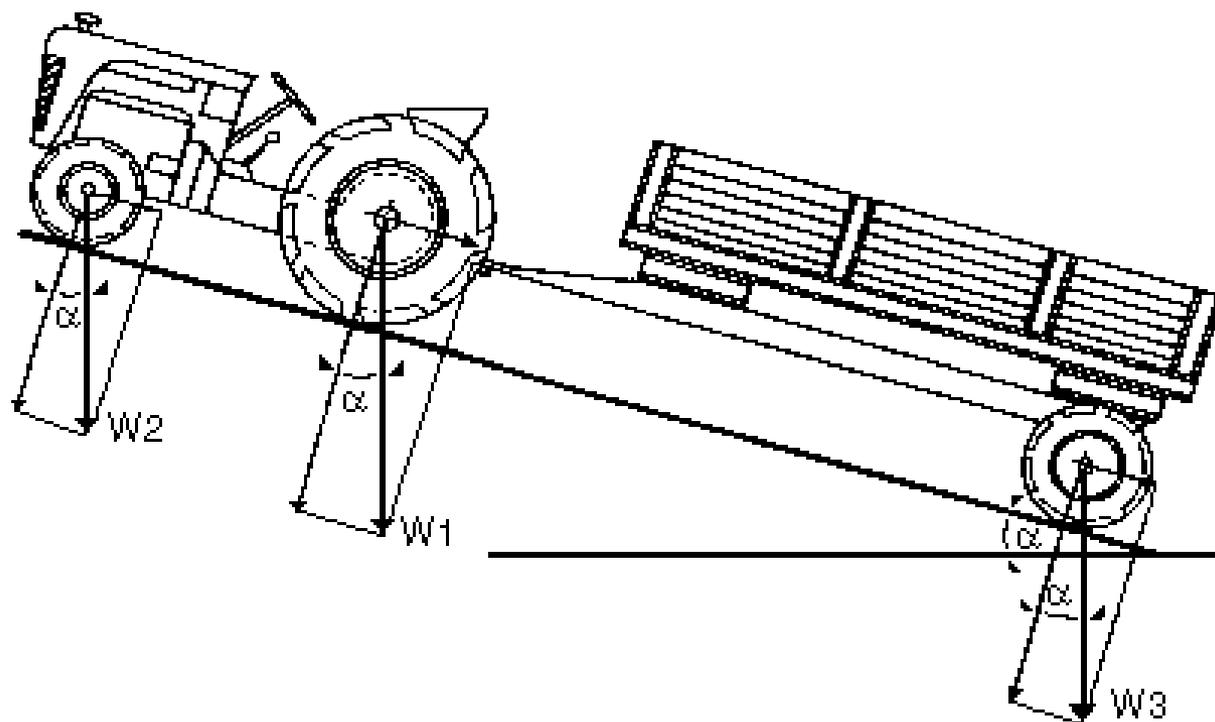
$$k - (C_r + \operatorname{tg} \alpha)$$

observa-se que, para o equipamento se deslocar, **é necessário que o coeficiente de aderência seja superior ao de rolamento mais a tangente da inclinação.**

Para o conjunto trator semireboque as forças envolvidas são:

$$k * W_1 * \cos \alpha > (W_1 + W_2 + W_3) * (C_r * \cos \alpha + \operatorname{sen} \alpha)$$

$$k * W_1 > (W_1 + W_2 + W_3) * (C_r + \operatorname{tg} \alpha)$$



Distribuição da massa de um trator e um reboque num terreno inclinado  
(Fonte: CEMAGREF, 1974)

## Diferentes situações de piso e inclinação

Diferentes situações de piso e inclinação	$k - (r + \operatorname{tg} \alpha)$
I - Bom piso e solo plano $k = 0.8; Cr = 0.05; \alpha = 0; \operatorname{tg} \alpha = 0$	0.75
II - Bom piso e solo inclinado $k = 0.8; Cr = 0.05; \alpha = 14^\circ; \operatorname{tg} \alpha = 0.25$	0.50
III - Mau piso e solo plano $k = 0.6; Cr = 0.15; \alpha = 0; \operatorname{tg} \alpha = 0$	0.45
IV - Mau piso e solo inclinado $k = 0.6; Cr = 0.15; \alpha = 14^\circ; \operatorname{tg} \alpha = 0.25$	0.20

# Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Para estas situações de piso e inclinação o comportamento de um trator de 2000 kg, com 1300 kg no eixo traseiro, e reboque de 4000 kg, e do mesmo trator mas para um semireboque de 4000 kg, 3000 kg no seu eixo e 1000 kg no eixo traseiro do trator é o seguinte:

Comportamento de um trator com reboque e com semi - reboque em diferentes situações de piso e inclinação do solo.

Diferentes situações	Trator + reboque	Trator + semi - reboque
I	Transita	Transita
II	Não transita	Transita
III	Não transita	Transita
IV	Não transita	Não transita

Diferentes situações de piso e inclinação	$k - (r + tg \alpha)$
I - Bom piso e solo plano $k = 0.8; Cr = 0.05; \alpha = 0; tg \alpha = 0$	0.75
II - Bom piso e solo inclinado $k = 0.8; Cr = 0.05; \alpha = 14^\circ; tg \alpha = 0.25$	0.50
III - Mau piso e solo plano $k = 0.6; Cr = 0.15; \alpha = 0; tg \alpha = 0$	0.45
IV - Mau piso e solo inclinado $k = 0.6; Cr = 0.15; \alpha = 14^\circ; tg \alpha = 0.25$	0.20