

# “Solicitações de tracção em grades de discos: Validação de modelos de previsão em solos do Alentejo”

(Trabalho financiado pelo Projecto PAMAF-8.140)

**Serrano, João. M., Peça, J. O., Pinheiro, A., Carvalho, M., Nunes, M., Ribeiro, L. e Santos, F.**

Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, Núcleo da Mitra, Apartado 94,  
7002-554 ÉVORA – PORTUGAL, Tel. 351-266 76 08 50, Fax-351-66-71 11 89, E-mail: jmrs@uevora.pt

## Resumo

*A modelação das solicitações de tracção em alfaias de mobilização do solo requer o conhecimento das variáveis com influência directa no parâmetro físico referido. Neste artigo faz-se uma breve abordagem aos estudos de modelação desenvolvidos para estimar e prever a resistência que o solo oferece ao avanço em grades de discos “offset”. São utilizados dados de campo obtidos em diferentes locais e condições de solos no Alentejo para enquadrar os modelos apresentados. Justifica-se o interesse do conhecimento das solicitações de tracção com base nas questões de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia.*

## 1.Introdução

Nos sistemas tradicionais de mobilização do solo no Alentejo é frequente a utilização de grades de discos tanto em mobilizações primárias, especialmente na instalação de culturas de Outono-Inverno ou em solos fracos, como em mobilizações secundárias, na preparação final da cama de semente.

O conhecimento das exigências de tracção específicas de cada alfaia permite:

- seleccionar os tractores, em termos de potência;
- servir de referência para efeitos de projecto e desenvolvimento da alfaia.

Muitos estudos têm sido conduzidos para medirem as necessidades de tracção de várias alfaias de mobilização em diversas condições de trabalho. Inclusivamente, têm sido desenvolvidos modelos de previsão do esforço de tracção necessário, contudo, a heterogeneidade dos solos aliada à complexidade da interacção entre o solo e as peças activas da alfaia e a constante evolução ao nível dos materiais e da concepção dos equipamentos tornam difícil a sua generalização. Por essas razões, os dados e a informação recolhida para uma determinada alfaia incluem uma larga variabilidade, dependente, fundamentalmente, das características específicas e das regulações da alfaia e das condições em que se encontra o solo. Justifica-se, por isso, a obtenção de dados de campo nas mais diversas condições de trabalho, por forma a que a base de dados assim constituída possa ser utilizada como uma ferramenta de apoio às decisões dos fabricantes e dos agricultores.

## 2.Objectivos

O projecto PAMAF 8.140 “Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo” permitiu o estabelecimento de um banco de dados de tracção com grades de discos “offset” em condições típicas do Alentejo. Estes dados são utilizados neste trabalho para validar diferentes modelos de previsão do esforço de tracção em grades de discos “offset” rebocadas, procurando confirmar a importância das variáveis envolvidas. De entre os modelos apresentados na literatura para prever este parâmetro em grades de discos, podem distinguir-se 3 grupos, utilizando como variáveis independentes, respectivamente: I-a massa da grade; II-a velocidade de trabalho; III-simultaneamente, a profundidade e a velocidade de trabalho. Nos ensaios realizados, foram utilizadas grades de discos rebocadas e desprovidas de mecanismos reguladores de profundidade, pelo que apenas são testados os dois primeiros modelos. O objectivo deste trabalho é, por isso, o de determinar qual dos modelos apresentados se ajusta melhor ao desempenho nas condições típicas do Alentejo, com grades de discos “offset” de fabrico nacional.

### 3.A modelação do esforço de tracção em grades de discos

#### 3.1. Modelo I - O modelo ASAE-Standards (1995)

A ASAE (American Society of Agricultural Engineers) propõe como modelo geral de previsão do esforço solicitado pelas grades de discos, uma função linear da massa da grade,  $M$  em kg (eq. 1 e quadro 1), sendo o coeficiente  $k$  estabelecido em função da textura do solo.

$$T = k.M \dots\dots(\text{eq. 1})$$

Quadro 1-Previsão da tracção solicitada por grades de discos “offset” (ASAE Standards 1995 -ASAE D497.2 MAR94 Agricultural Machinery Management Data).

Tipo de solo	Tracção (T, em N)
Argiloso	14,7.M
Franco-limoso	11,7.M
Arenoso-franco	7,8.M

Onde:  $M$ - é a massa da alfaia em kg.

Este modelo pode considerar-se uma referência uma vez que considera provavelmente os dois parâmetros com maior importância na definição do esforço solicitado por estas alfaias: o peso da alfaia e o tipo de solo. No entanto, é apontado na bibliografia como pouco rigoroso, uma vez que não considera o efeito da velocidade de trabalho e, no que respeita à profundidade apenas o valida para “...a profundidade de trabalho típica das grade de discos...”. Por estas razões, muitos outros modelos têm sido desenvolvidos, procurando dar respostas mais precisas a esta questão, podendo considerar-se diferentes formas de aproximação à realidade, com graus de complexidade variáveis.

#### 3.2. Modelo II - O modelo linear da velocidade (Harrigan e Rotz, 1994; Siemens, 1996)

Para a grade de discos e para cada tipo e condição de solo em cada profundidade de trabalho, a relação entre esforço de tracção e velocidade toma a forma da equação 2:

$$R = A + B(v_r) \dots\dots(\text{eq. 2})$$

Onde:  $R$ - é a resistência específica por unidade de secção de solo mobilizado (em  $N/cm^2$ );  $v_r$  - é a velocidade de avanço (em km/h); e  $A$ ,  $B$ - são constantes dependentes da alfaia, do tipo e da condição de solo.

No quadro 2 apresentam-se os valores dos coeficientes propostos por Harrigan e Rotz (1994); Ramp e Siemens (1990) e Siemens (1996) para a grade de discos “offset” em função do tipo e da condição do solo.

Quadro 2- Coeficientes propostos por Harrigan e Rotz (1994 e 1995), Ramp e Siemens (1990) e Siemens (1996) para as equações de previsão do esforço de tracção em grades de discos e em diversas condições de solo.

Alfaia e condição do solo	Textura do solo	A	B
Grade de discos “offset” em mobilização primária	Fina	3,64	0,19
	Média	3,20	0,16
	Grosseira	2,84	0,14
Grade de discos “offset” em mobilização secundária	Fina	2,54	0,13
	Média	2,24	0,12
	Grosseira	1,99	0,09

Os coeficientes apresentados traduzem a consideração por parte dos autores de um factor constante para traduzir o efeito da textura do solo e da condição do solo. Quanto à textura, consideram que a resistência

específica em solo de textura média é cerca de 88% da resistência específica em solo de textura fina, enquanto em solo de textura grosseira é de prever uma resistência específica de cerca de 78% da resistência específica em solo de textura fina. No que concerne à condição do solo, o esforço exigido aos discos é normalmente maior em mobilizações primárias relativamente às mobilizações secundárias, contudo, por vezes, acontece o inverso devido à maior profundidade de trabalho em solo já mobilizado (Harrigan e Rotz, 1995; Siemens, 1996). Harrigan e Rotz (1995) e Siemens (1996), relativamente a esta problemática, citam os resultados publicados por Reid *et al.* (1978 e 1983): o esforço exigido à grade de discos “offset” na mobilização secundária foi cerca de 63% da mobilização primária em solo franco-argiloso, 58% em solo franco-argilo-arenoso e 93% em solo arenoso-franco. Harrigan e Rotz (1995) e Siemens (1996) indicam no modelo um factor constante intermédio destes (0,70) para a utilização da grade de discos em mobilização secundária, relativamente à mobilização primária.

Os valores dos parâmetros indicados são resultado da pesquisa de dados publicados, algumas vezes obtidos em condições específicas de solos, outras vezes resultantes de extrapolações a partir de dados obtidos com alfaías semelhantes e de preferência representativos das 3 principais classificações de solos: textura fina (argiloso), média (franco) e grosseira (arenoso), método de agrupamento dos solos vulgarmente utilizado para alfaías de mobilização do solo e já apresentado por Rotz e Black (1985), Hunt (1977), White (1977), citados por Harrigan e Rotz (1994).

### **3.3. Modelo III - Os modelos de interacção velocidade-profundidade**

Ao contrário do que se passa com os anteriores modelos apresentados, as tentativas de modelação conhecidas que incluem a profundidade e a velocidade de trabalho resultaram em sistemas muito complexos e foram desenvolvidos a partir de condições de trabalho muito particulares (Grisso *et al.*, 1994; Al-Janobi e Al-Suhaibani, 1998), não procurando a generalização, por esse motivo esses modelos não são considerados nesta validação.

## **4.A validação dos modelos apresentados**

Depois de apresentados os modelos propostos na bibliografia, interessava avaliar qual deles se ajustaria melhor às condições de trabalho normalmente encontradas em operação com grades de discos “offset” no Alentejo. Para este efeito foram utilizados os dados de campo obtidos em ensaios realizados no âmbito do projecto PAMAF 8.140.

O quadro 3 apresenta o conjunto dos locais onde foram realizados ensaios com grades de discos “offset” dos agricultores, indicando-se:

- as características do solo: textura, condição do solo e índice de argila;
- as características das grades: modelo, largura (L, em m), profundidade (d, em m), velocidade real de trabalho (vr, em km/h) e tracção na barra (Tb, em kN).

Foi ainda utilizada nos mesmos locais uma grade Herculano pertencente ao projecto (modelo HPR 20-24”, com 1300kg de massa), servindo os valores obtidos com esta grade como referência na comparação entre locais.

Uma vez que qualquer dos dois modelos que se pretendem validar consideram o efeito da textura do solo, subdividindo-a em 3 grupos, solos de textura grosseira, solos de textura média e solos de textura fina, procedeu-se a semelhante subdivisão nos solos correspondentes aos locais de ensaio, tendo por base o índice de argila. O critério definido para esta subdivisão foi o seguinte:

-solo de textura fina (limite considerado para este grupo: índice de argila superior a 50% correspondendo a um teor de argila superior a 33%);

-solo de textura média (limite considerado para este grupo: índice de argila entre 30 e 50% correspondendo a um teor de argila entre 24 e 33%);

-solo de textura grosseira (limite considerado para este grupo: índice de argila inferior a 30% correspondendo a um teor de argila inferior a 24%).

### **4.1. Validação do Modelo I – da ASAE**

A figura 1 enquadra neste modelo de previsão os valores de tracção efectivamente medidos nos ensaios. A nossa discussão recairá sobre os solos dos grupos de textura grosseira e média dada a sua

preponderância na região, evidente na amostra utilizada no ensaio (quadro 3). Apenas uma breve referência aos solos de textura fina para confirmar a grande aproximação do modelo de previsão relativamente aos poucos valores (apenas 3) efectivamente medidos, relativos a 2 grades de discos (figura 1). O desvio percentual entre os valores previstos e os valores medidos foi inferior a 13%.

Quadro 3- Características dos locais de ensaio e das grades utilizadas.

Local	SOLO			CARACTERÍSTICAS DAS GRADES DOS AGRICULTORES						GRADE REFERÊNCIA			
	Classificação Textural (Tipo de mobilização)	Índice de argila* (%)	Grupo de Textura	Modelo	M (kg)	L (m)	d (cm)	vr (km/h)	Tb (kN)	L (m)	d (cm)	vr (km/h)	Tb (kN)
Selmes-B	Argiloso (2 <sup>ária</sup> , após chisel)	104	Fina	Galucho-GLHR 36-26"	---	3,80	18	7,4	30,0	---	---	---	---
Vale Figueira	Franco-argiloso (1 <sup>ária</sup> )	59	Fina	Fialho-FI/RTM 26-24"	1700	2,54	15	---	22,6	2,14	16,5	7,6	16,7
Vale Figueira	Franco-argiloso (1 <sup>ária</sup> )	59	Fina	Fialho-FI/RTM 24-24"	1540	2,37	16	---	22,5	2,14	16,5	7,6	16,7
Barrocal	Franco-argilo-arenoso (2 <sup>ária</sup> , após chisel+gradagem)	49	Média	Fialho-FI/RTF 24-26"	1950	2,65	16	8,5	23,3	2,05	16	7,2	14,4
Mencoca-C	Franco-argilo-arenoso (2 <sup>ária</sup> , após lavoura)	44	Média	Galucho-GLHR 40-26"	3900	4,50	18	---	39,6	---	---	---	---
Selmes-A	Franco/Franco-argiloso (1 <sup>ária</sup> )	39	Média	Galucho-GLHR 36-26"	---	4,00	10	8,0	18,8	---	---	---	---
Outeiro	Franco-argiloso (1 <sup>ária</sup> )	39	Média	Galucho-GSM 24-28"	---	2,89	18	6,4	27,7	2,08	19	6,1	16,4
Mencoca-B	Franco-argilo-arenoso (2 <sup>ária</sup> , após lavoura+gradagem)	36	Média	Galucho-GLHR 28-26"	2500	3,30	20	---	29,4	---	---	---	---
Lentisca-B	Franco-argilo-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	33	Média	Galucho-A2CP 24-26"	1460	2,52	17	5,8	19,2	2,08	19	7,2	16,0
Lentisca-B	Franco-argilo-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	33	Média	Galucho-A2CP 22-24"	1180	2,20	14	6,9	16,1	2,08	19	7,2	16,0
Fitojardim	Franco-argilo-arenoso/ Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	25	Grosseira	Herculano-HPR 24-24"	1460	2,50	17	6,4	17,5	2,01	18	7,5	16,6
Campo da Mira	Franco (1 <sup>ária</sup> )	23	Grosseira	Galucho-GLHR 24-26"	1870	2,93	18	4,7	25,2	2,07	18	6,4	18,2
Tojal	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	22	Grosseira	Premetal-PLHR 26-26"	2700	3,00	18	5,1	30,0	2,06	18	5,8	16,9
Lentisca-A	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	22	Grosseira	Galucho-A2CP 24-26"	1460	2,43	14,5	8,2	18,7	2,07	18	5,6	18,0
Lentisca-A	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	22	Grosseira	Halcon 28-24"	1650	3,30	13	7,6	19,1	2,07	18	5,6	18,0
Oliveiras	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	20	Grosseira	Premetal-PLHR 26-26"	2700	3,19	18	6,0	23,6	2,10	16,5	7,6	15,1
Arreimonda	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	20	Grosseira	Josial-GCHA 14-28"	1740	1,95	20	---	19,3	---	---	---	---
Lagoa-B	Franco-arenoso (2 <sup>ária</sup> ; após lavoura)	19	Grosseira	Torpedo 40-26"	3870	4,30	25	---	34,0	---	---	---	---
Louseiro-A	Franco-arenoso/Franco (1 <sup>ária</sup> )	19	Grosseira	Fialho-FI/RTM 20-24"	1300	2,20	22	5,8	20,9	2,09	22	5,8	20,7
Cabanas	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	18	Grosseira	Premetal 24-26"	2165	2,65	17	---	24,1	2,18	17	6,0	15,3
Louseiro-B	Franco-arenoso (1 <sup>ária</sup> )	16	Grosseira	Herculano-HPR 24-24"	1460	2,50	16	6,3	18,5	2,11	17	7,2	17,3

\*Índice de argila=(%argila\*100/(%areia+%limo))

No que se refere aos valores de tracção medidos em solos de textura grosseira ou de textura média, verifica-se em primeiro lugar uma clara tendência linear positiva por efeito da massa da grade, tal como prevê o modelo. Para confirmar esta clara tendência, os coeficientes de determinação das rectas de regressão adaptadas aos valores medidos são de 0,82 e de 0,98, respectivamente para solos de textura grosseira e solos de textura média. É também evidente que o grau de aproximação do modelo é elevado para os solos de textura média, onde o desvio percentual dos valores previstos para os valores medidos é,

nos 7 casos estudados, inferior a 15%. Nos solos de textura grosseira, e especialmente no caso das grades mais leves (abaixo de 2500kg de massa), há uma clara tendência para o modelo subvalorizar os valores de tracção. Em primeira análise, tal pode justificar-se pelo facto do modelo atribuir aos solos de textura média uma quebra na tracção prevista de cerca de 20% relativamente aos solos de textura fina, confirmado pelos resultados obtidos, enquanto no caso dos solos de textura grosseira a quebra prevista é da ordem dos 50%, quando os valores realmente medidos não o confirmam. Naturalmente que estas indicações poderão servir como tal, no entanto, condições particulares, nomeadamente, o teor de humidade do solo e a história de antecedentes culturais deverão ser ponderados uma vez que condicionam o efeito da textura. Também o critério por nós utilizado no agrupamento dos solos em três classes permite discussão e poderá justificar parte desta diferença, uma vez que, na realidade, alguns dos solos que foram classificados como pertencentes à classe de textura grosseira não apresentam grandes diferenças em termos de teores de argila, relativamente aos solos de textura média.

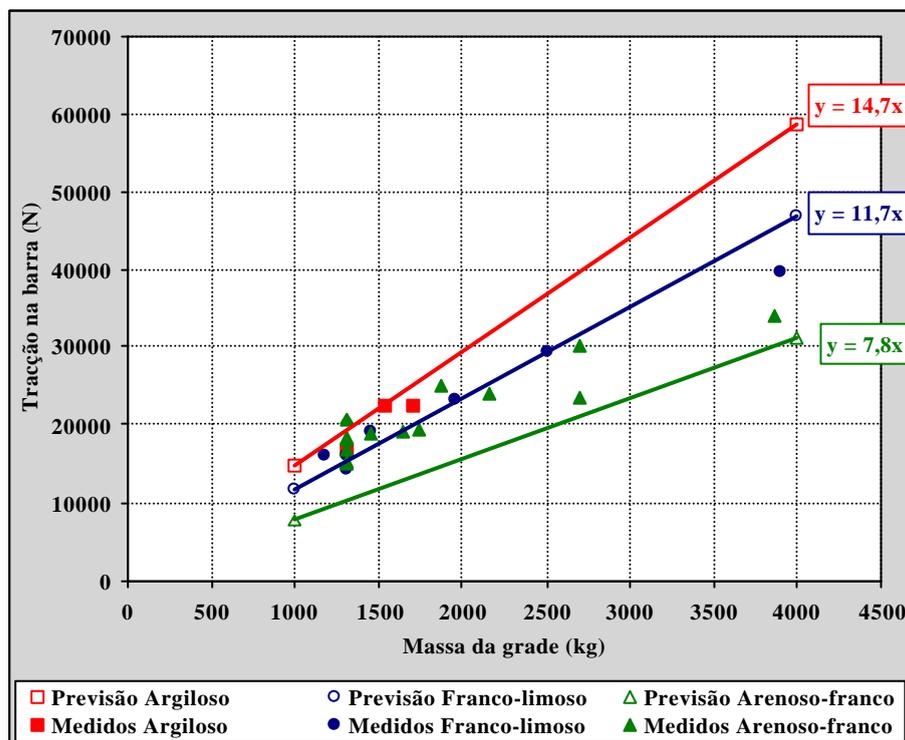


Figura 1-Tracção na barra em função da massa da grade:  
Validação do modelo linear de previsão da ASAE.

A utilização dos dados de tracção medidos referentes à grade do agricultor e à grade de referência (Herculano HPR 20-24”), que serviram de base ao gráfico da figura 1 e que se encontram no quadro 3, comprovaram em cada local de ensaio um efeito linear da massa sobre a tracção solicitada. Em média obtiveram-se valores de tracção na barra de 8 a 10 N/kg de massa da grade em solo mobilizado (grade em mobilização secundária) e entre 9 e 16 N/kg de massa da grade em solo não mobilizado (grade em mobilização primária), valores enquadrados com os da previsão da ASAE (entre 7,8 e 14,7 N/kg, em função da textura do solo). A diminuição dos valores deste quociente de situações de mobilização primária para mobilizações secundárias vem de encontro ao que a maior parte da bibliografia refere.

Como primeira aproximação, pode considerar-se este modelo como uma boa referência prática nos aspectos de dimensionamento. No entanto, existem dois aspectos que merecem algum comentário: por um lado, a importância que o modelo confere às questões da textura e, por outro, o facto do modelo não prever qualquer efeito da velocidade de trabalho sobre a tracção solicitada na barra. Quanto ao primeiro, a

observação dos resultados apresentados no quadro 3 mostra que o efeito da textura não é tão pronunciado como o modelo deixa antever, especialmente na transição entre solos de textura média e textura grosseira, para além de que haverá outros aspectos a considerar, tanto no solo como na grade, que serão também responsáveis por variações no esforço solicitado. De entre estes, salienta-se o estado em que o solo se encontra (mobilizado ou não, a história dos antecedentes culturais, o teor de humidade) e as características e regulações na grade (diâmetro dos discos, abertura dos corpos). No que se refere ao efeito da velocidade faremos os comentários devidos na secção correspondente ao modelo II.

---

#### 4.2. Validação do Modelo II - modelo linear da velocidade

Também relativamente a este modelo a discussão dos resultados incide sobre as previsões para solos de texturas média e grosseira dada a pequena participação de locais de ensaio com solo de textura fina na amostra considerada.

Verifica-se que o modelo define para solo não mobilizado aproximadamente o limite mínimo da distribuição dos valores medidos, apresentando, por isso, alguma tendência para subvalorização da previsão (figura 2). Apesar de ser evidente uma ligeira tendência positiva e linear para o efeito da velocidade sobre a resistência específica, tal como enuncia o modelo e como comprovam os coeficientes apresentados no quadro 4, obtidos a partir de ensaios realizados em alguns dos locais com diferentes velocidades de trabalho, a grande variabilidade dos resultados obtidos não permite tirar grandes conclusões. Apesar de tudo, refira-se que a mancha de valores englobados pela linha a negro, perfeitamente enquadrada na recta de previsão respeitante ao solo de textura grosseira, diz respeito a dados de campo obtidos apenas com a grade de referência. Os resultados obtidos com as grades dos agricultores, em geral mais pesadas do que a grade de referência (quadro 3) encontram-se tendencialmente acima desta zona, podendo daqui inferir-se uma das limitações deste modelo: o facto de não tomar em conta as características da grade. Também nesta previsão se revela a dificuldade de ponderar a questão da textura do solo, especialmente quando são diversas as condições do solo quanto ao teor de humidade ou quanto à história de antecedentes culturais, porventura tão ou mais determinantes no esforço de tracção solicitado do que a própria textura. Por outro lado, o modelo é omissivo quanto às regulações efectuadas nas grades de discos, sendo de prever que se refira a situações de abertura máxima dos corpos da grade, enquanto os valores medidos usados na validação resultam da utilização de várias grades de discos por vezes com mais de uma abertura dos corpos da grade. Naturalmente que as situações de menor abertura da grade correspondem a menores esforços de tracção e permitem, por isso, a operação com velocidades mais elevadas, o que se traduz numa completa inversão do modelo.

Na utilização da grade em mobilização secundária, deve fazer-se referência à boa aproximação da previsão do modelo relativamente aos valores medidos em solo de textura fina, ao contrário do que acontece nos outros grupos texturais (figura 3). Inclusivamente, verifica-se uma grande semelhança nos valores da resistência específica entre as duas condições de solo (não mobilizado e mobilizado), quando o modelo prevê uma quebra média de 70% neste parâmetro para a utilização da grade em mobilização secundária relativamente à mobilização primária. Este será, certamente, outro ponto fraco do modelo. Os resultados realmente medidos colocam em questão este pressuposto e revelam que seria mais ajustado atribuir coeficientes diferenciados de acordo com o grupo textural em causa. Reid *et al.* (1978 e 1983), cujos resultados serviram de base à definição geral deste modelo, atribuem coeficientes mais elevados em solos de textura grosseira, preponderantes na nossa amostra, e que seriam mais adequados em face dos resultados obtidos nos ensaios de campo.

Como comentário à validação deste modelo e em face da pequena amplitude de velocidades em que a grade de discos é normalmente utilizada (entre 6 e 8km/h), a variável independente que este modelo utiliza funciona praticamente como uma constante, resumindo-se o modelo ao efeito da textura e da condição do solo, sem qualquer referência ao peso da alfaia, ficando por isso aquém do modelo da ASAE.

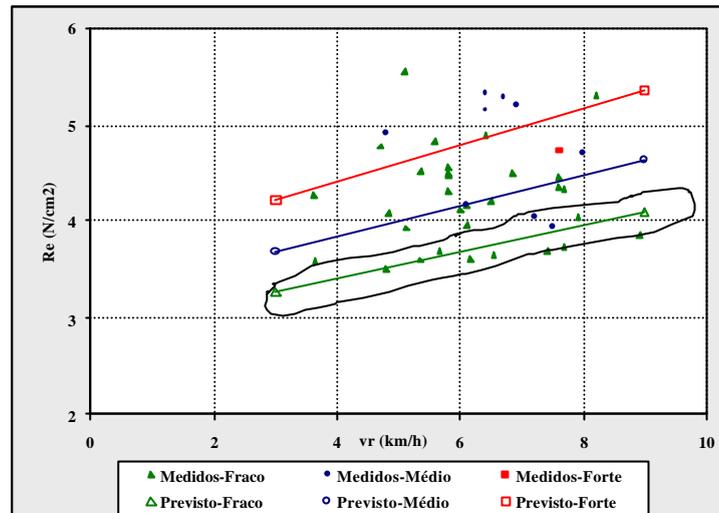


Figura 2- Validação do modelo de previsão do esforço de tracção em função da velocidade, em solo não mobilizado.

Quadro 4-Coefficientes A e B da equação linear de previsão do esforço de tracção a partir da velocidade real de avanço, obtidos em ensaios de campo com grades de discos “offset” em diferentes condições de trabalho.

Local	Grade (abertura, em °) e Tipo de mobilização	A	B	R <sup>2</sup>
Fitojardim	Grade Agric. (37°)– Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	3,11	0,08	0,9791
Louseiro-B	Grade Agric. (37°)– Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	3,69	0,08	0,9923
Campo da Mira	Grade Referência (46°) – Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	4,04	0,07	0,7408
Campo da Mira	Grade Referência (37°) – Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	3,49	0,03	0,7509
Selmes-B	Grade Agric. (36°)– Mobilização 2 <sup>ª</sup> ria (Após chisel)	3,11	0,07	0,9968
Barrocal	Grade Agric. (52°) – Mobilização 2 <sup>ª</sup> ria (Após chisel+gradagem)	3,75	0,24	0,9983
Barrocal	Grade Agric. (46°) – Mobilização 2 <sup>ª</sup> ria (Após chisel+gradagem)	2,79	0,26	0,9832
Outeiro	Grade Agric. (44°) – Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	4,02	0,18	0,9692
Oliveiras	Grade Referência (46°) – Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	3,74	0,03	0,9998
Oliveiras	Grade Referência (37°)– Mobilização 1 <sup>ª</sup> ria	3,18	0,07	0,9766

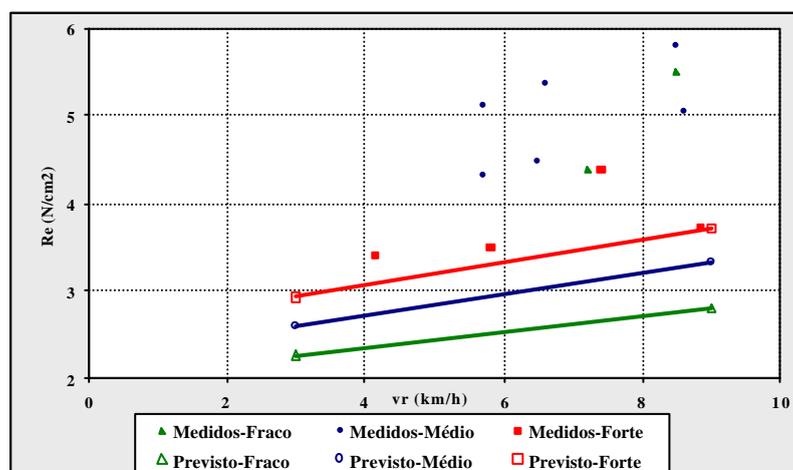


Figura 3- Validação do modelo de previsão do esforço de tracção em função da velocidade, em solo mobilizado.

## 5. Da previsão do esforço ao dimensionamento do tractor

Em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia, é comum o agricultor preocupar-se com a adequação da dimensão (em termos de potência) do tractor para a charrua, resultando todos os outros pares normalmente desequilibrados, com um subaproveitamento da potência disponível. Este reflecte-se, naturalmente, nos custos de utilização dos equipamentos, traduzidos por indicadores como a capacidade de trabalho (em ha/h) e o consumo de combustível por hectare (L/ha).

A importância do conhecimento das exigências de tracção específicas de cada alfaia decorre, por isso, do facto de, com base nas mesmas, se poder prever a dimensão adequada dos tractores, em termos de potência, podendo assim obter um adequado compromisso para o conjunto.

A diversidade de ensaios sistemáticos realizados no âmbito deste projecto permitiu definir nas condições típicas do Alentejo, em termos médios para a operação de tractores de 4 rodas motoras com grades de discos “offset” rebocadas:

- um intervalo de velocidades normais de trabalho ( $v_r$ ) de 6 a 8 km/h;
- um rendimento total (inclui o rendimento mecânico da transmissão,  $\eta_m$  e o rendimento de tracção,  $\eta_t$ ) compreendido entre 50 e 60 %.

A utilização destes valores médios conjugados com o modelo de previsão da ASAE, aqui referido e validado, permite, a partir do conhecimento da massa da grade, prever, através das equações 3 e 4, as necessidades de potência no tractor para trabalhar nas condições habituais no Alentejo, em função da textura do solo (figura 4). A potência mínima será aquela que corresponderá à utilização da grade em boas condições de tracção (rendimento total de cerca de 60%), enquanto a potência máxima será aquela que resultará da utilização da grade em condições mais difíceis de tracção (rendimento total de cerca de 50%). A amplitude do intervalo de potências indicadas depende, fundamentalmente, das condições previstas de trabalho, nomeadamente ao nível da textura, da estrutura e da condição dos solos típicos onde se pretende utilizar determinada alfaia. A indicação de uma potência máxima recomendada justifica-se para evitar a utilização de tractores demasiado grandes com alfaias muito pequenas, exigindo velocidades elevadas para rentabilizar o grau de utilização da potência disponível, podendo colocar em risco não só a resistência da alfaia e a qualidade do trabalho, mas principalmente o conforto e a segurança do operador.

$$Pot_{\text{mín.recom.}} = \frac{k \times M \times v_{r_{\text{máx.}}}}{3600 \times h_m \times h_{t_{\text{máx.}}}} \dots\dots\dots (eq.3)$$

$$Pot_{\text{máx.recom.}} = \frac{k \times M \times v_{r_{\text{máx.}}}}{3600 \times h_m \times h_{t_{\text{mín.}}}} \dots\dots\dots (eq.4)$$

Onde: k-é a constante apresentada pelo modelo ASAE em função da textura do solo; M- é a massa da grade, em kg; 3600- é um factor de conversão de unidades.

Por exemplo, uma grade de discos com as características da grade de referência utilizada nestes ensaios (Grade Herculano HPR-20-24”, de 1300kg de massa), em operação em solos de textura grosseira a média, típicos no Alto Alentejo, exige, de acordo com este diagrama de previsão, a utilização de um tractor com uma potência no motor entre 45 e 68kW, ou seja 60 a 90CV. A recomendação do fabricante para este modelo de grade, segundo o catálogo respectivo é de 70 a 80CV. Refira-se, no entanto, que os valores da massa da grade indicadas no mesmo catálogo se encontram subvalorizados em cerca de 20 a 30% da sua massa real. Esta subvalorização é, aliás, comum também nas indicações de modelos de grades de outros fabricantes consideradas neste estudo.

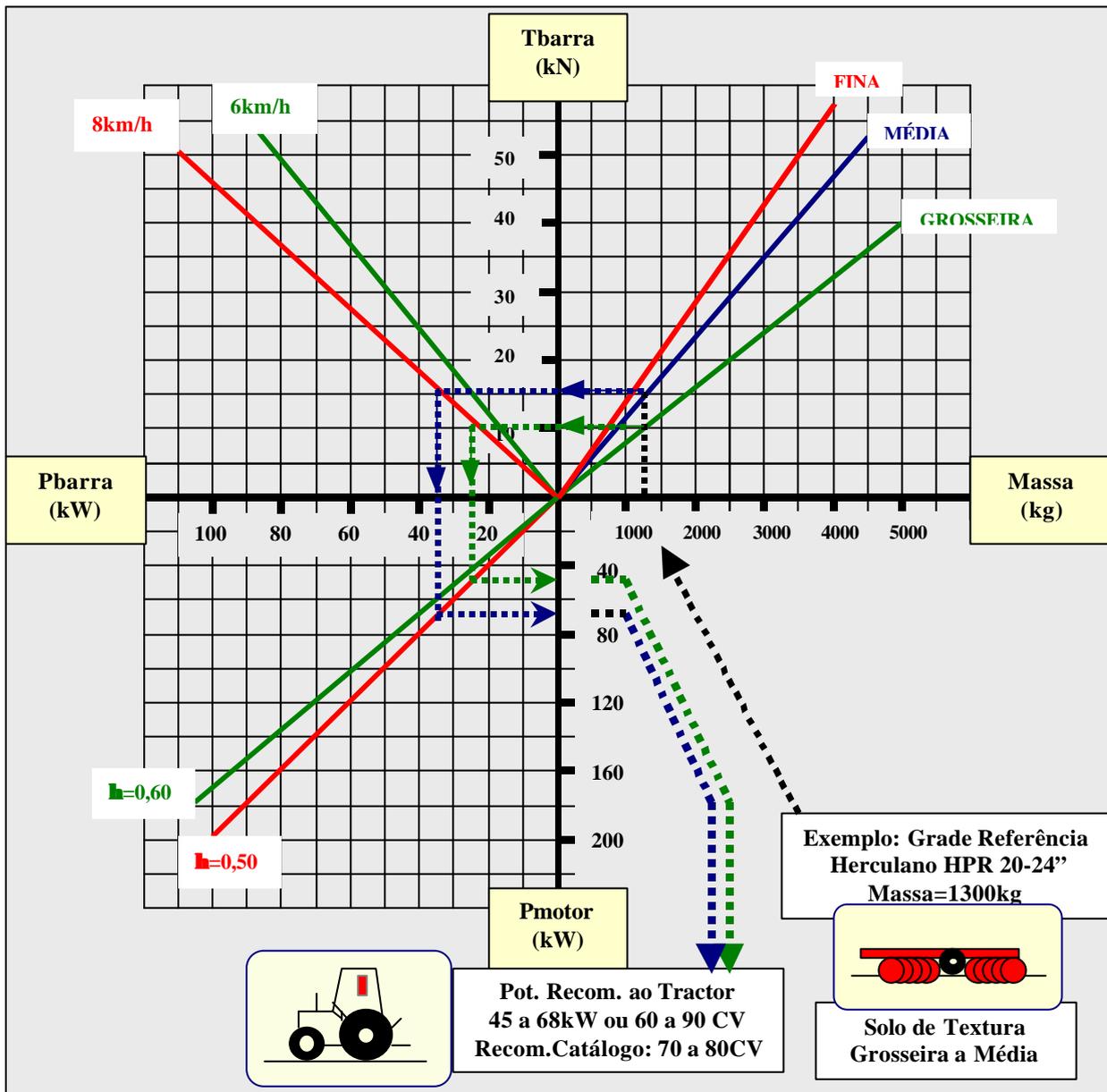


Figura 4-Diagrama para determinação da potência recomendada para trabalhar com grades de discos, pela aplicação do modelo da ASAE.

## 6. Conclusões

A tentativa de previsão do esforço de tracção em alfaías agrícolas justifica-se pela importância do conhecimento deste parâmetro para o fabricante destes equipamentos, para efeitos de projecto e desenvolvimento das alfaías, e para o agricultor, em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaía e para estimativa dos custos afectos às operações de mobilização do solo. No entanto, a heterogeneidade dos solos e a complexidade da dinâmica de interacção das alfaías com o solo dificulta o estabelecimento de modelos de previsão. Apesar de tudo, são diversos os modelos apresentados por diferentes equipas de investigação, comprovando-se neste estudo que a previsão da ASAE Standards no que respeita às grades de discos "offset" rebocadas pode funcionar como um indicador prático de grande utilidade. O efeito positivo da massa da grade sobre a respectiva solicitação de tracção foi demonstrada

utilizando diferentes modelos de grades em diversas condições de trabalho no Alentejo. Foram encontrados valores de tracção na barra de 9 a 16 N/kg de massa da grade, em mobilização primária e em função do tipo e das condições do solo.

Foi também comprovado o efeito linear positivo da velocidade de trabalho sobre o esforço de tracção, tal como prevê o modelo de Harrigan e Rotz (1994), também apresentado por vários outros autores, entre os quais Siemens (1996). Os resultados obtidos permitem estimar um acréscimo médio de 3 a 4% na resistência específica (em  $N/cm^2$ ) por cada km de velocidade, no intervalo de velocidades típico de utilização em grades de discos (6 a 8 km/h). Este modelo, no entanto, apresenta algumas limitações, sendo a principal o facto de o mesmo não considerar características específicas da alfaia, como o seu peso, por exemplo. Pode considerar-se, por isso, que este tal como os modelos complexos que consideram a interacção da velocidade e da profundidade de trabalho, assumem uma importância mais académica do que propriamente prática.

O efeito do tipo de solo é apresentado pelo modelo da ASAE Standards para as grades de discos como determinante no esforço de tracção solicitado, prevendo um acréscimo da ordem dos 50% na transição de solo de textura grosseira para solo de textura média e um acréscimo de cerca de 90% na transição do primeiro para um solo de textura fina. Os resultados obtidos não permitem sustentar esta previsão, aproximando-se mais, neste aspecto, do modelo de Harrigan e Rotz (1994), o qual prevê para a comparação dos mesmos tipos de solos, acréscimos respectivamente de 13% e de 28% na resistência específica ( $N/cm^2$ ).

A condição do solo também é indicada no modelo de Harrigan e Rotz (1994) com influência na resistência específica, sendo utilizado o valor médio de 70% em grades de discos em mobilização secundária relativamente à sua utilização em mobilização primária. Os mesmos autores ressaltam contudo a possibilidade destes valores apresentarem uma grande variação. O tipo de mobilização anterior à passagem da grade de discos condiciona, naturalmente, o estado do solo e, conseqüentemente, a resistência que este oferece. Nos ensaios realizados, apesar da tendência ser para uma ligeira diminuição dos valores da resistência específica em mobilização secundária relativamente à mobilização primária, a interferência de factores como o tipo de solo, o tipo de mobilização primária e a tendência para a utilização de menores ângulos de abertura dos corpos na grade em mobilização secundária dificultam a comparação e o estabelecimento de qualquer relação.

Um dos aspectos porventura mais importantes na intensidade do esforço solicitado pelas grades de discos “offset” é o ângulo de ataque dos discos, não sendo considerado em qualquer dos modelos apresentados uma vez que os mesmos são modelos de dimensionamento, logo terão subjacente a utilização dos ângulos máximos permitidos.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados, predominantemente com dois diâmetros de discos (24 e 26”), mostram ainda o efeito positivo deste parâmetro sobre a resistência que o solo oferece às grades de discos “offset”. Em termos médios pode esperar-se uma resistência específica por metro de largura de trabalho entre 7 e 9 kN/m nas grades com 24” de diâmetro de disco e entre 8 e 10 kN/m nas grades com 26” de diâmetro de disco, variável com as condições específicas do solo. Estes dados podem servir como indicadores tipo para as condições de trabalho habituais no Alentejo, utilizáveis ao nível das decisões dos agricultores e dos próprios fabricantes destes equipamentos.

Pode por fim afirmar-se que, com base nos resultados obtidos, o modelo da ASAE apresenta um bom nível de aproximação à realidade, podendo utilizar-se nas condições do Alentejo como referência, em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia, devendo garantir-se, no entanto, a aplicação dos valores da massa efectivamente medidos e não os valores, normalmente inferiores, constantes dos catálogos respectivos.

## 7.Referências bibliográficas

- Al-Janobi, A. A. e Al-Suhaibani, S. A. (1998)- Draft of Primay Tillage Implements in Sandy Loam Soil. ASAE, *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 14(4): 343-348.
- ASAE Standards (1995) –ASAE D497.2 MAR94 Agricultural Machinery Management Data 4.Draft and power requirements. St. Joseph, Mich., 42nd Ed., ASAE, 337.
- Grisso, R. D.; Yasin, M. e Kocher, M. F. (1996)- Tillage Implement Forces Operating in Silty Clay Loam *Paper N° 94-1532 ASAE Meeting*, Chicago.
- Harrigan, T. M. e Rotz, C. A. (1994)-Draft of Major Tillage and Seeding Equipment. Agricultural Engineering Department, *Paper N° 94-1533 Meeting ASAE*, Atlanta, December 13-16.

- Harrigan, T. M. e Rotz, C. A. (1995)-Draft of Major Tillage and Seeding Equipment. *Applied Engineering in Agriculture*, ASAE, Vol. 11(6):773-783.
- Hunt, D. (1977)-*Farm power and machinery management*. Seventh edition. Iowa State Univ. Press, Ames, IA.
- Ramp, D. P. e Siemens, J. C. (1990)- Tractor/Implement Matching for Performance and productivity. *Paper N° 90-1562 ASAE Meeting*, Chicago.
- Reid, J. T. (1978)-A comparison of the energy of some tillage tools. *Paper N° 78-1039 ASAE Meeting*, St. Joseph, Mich..
- Reid, J. T.; Carter, L. M. e Clark, R. L. (1983)-Draft measurements with a three-point dynamometer. *Paper N° 83-1036 ASAE Meeting*, St. Joseph, Mich..
- Rotz, C. A. e Black, J. R. (1985)-Machinery requirements and cost comparisons across tillage systems. *F. M. D'Itri, A System Approach To Conservation Tillage*. Lewis Publishers, Chelsea, Mich., 171-190.
- Siemens, J. C. (1996)- *Farm Power and Machinery*. Agricultural Engineering Departement, University of Illinois, Urbana, August, 110-113.
- White, R. G. (1977)-*Matching tractor horsepower and farm implemment size*. Bulletin E-1152, Cooperative Extension Service, Michigan State Univ., East Lansing, Michigan.