

# O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR HECTARE COMO INDICADOR DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DO TRACTOR AGRÍCOLA EM MOBILIZAÇÃO DO SOLO

## FUEL CONSUMPTION PER HECTARE INDICATOR OF THE ENERGETIC EFFICIENCY OF TRACTOR IN TILLAGE OPERATIONS

POR

J. M. P. R. SERRANO <sup>1</sup>, J. O. PEÇA <sup>1</sup>, A. C. PINHEIRO <sup>1</sup>,  
M. J. CARVALHO <sup>1</sup>, M. NUNES <sup>2</sup>, L. RIBEIRO <sup>2</sup> & F. SANTOS <sup>3</sup>

---

### RESUMO

O consumo de combustível por hectare constitui uma importante referência do desempenho do tractor agrícola. Este parâmetro traduz o envolvimento das diversas variáveis que condicionam o rendimento global da transformação do combustível fornecido ao motor em trabalho útil realizado pela alfaia em mobilização do solo. Os resultados de ensaios de campo realizados em explorações agrícolas do Alentejo são apresentados neste artigo para comprovarem a importância relativa dessas variáveis.

Optimizadas as regulações ao nível do regime do motor e da relação de transmissão da caixa de velocidades, do lastro e da pressão de enchimento dos pneus, foi possível estabelecer equações de referência que relacionam o consumo de combustível por hectare com o esforço de tracção solicitado pela alfaia, para condições de trabalho típicas no Alentejo. Estas podem ser utilizadas para comparar sistemas de mobilização do solo alternativos, com diferentes exigências de tracção, ou para avaliar o dimensionamento do conjunto tractor-alfaia.

**Palavras chave:** Tractor; mobilização do solo; consumo de combustível; eficiência.

---

<sup>1</sup> Universidade de Évora (UE), Departamento de Engenharia Rural, Núcleo da Mitra, 7000 Évora, e-mail: jmrs@uevora.pt

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Laboratório de Medidas Eléctricas, Lisboa.

<sup>3</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural, Vila Real.

## ABSTRACT

The fuel consumption per hectare constitutes an important reference of the agricultural tractor performance. This parameter expresses the variables which determine the overall energy efficiency of the fuel in soil tillage. The results of the field tests carried through in agricultural conditions of the Alentejo (Southern Portugal) are presented in this article to validate the relative importance of this variable.

Optimised the adjustments of the engine speed and the gear selection, of the tractor ballast and the inflation pressure, was possible to establish equations of reference to estimate the fuel consumption per hectare from measured draught force, in typical Alentejo conditions of work. These can be used to compare the tillage alternative systems, with different energy requirements, or to evaluate the sizing of the tractor-implement set.

**Keywords:** Tractor; tillage; fuel consumption; efficiency.

## INTRODUÇÃO

As operações de mobilização do solo representam, na utilização do tractor em sistemas agrícolas tradicionais, uma das actividades com custos energéticos mais elevados. A sustentabilidade destes sistemas exige uma gestão rigorosa dos recursos, com redução importante dos custos de produção das culturas, nomeadamente ao nível dos custos associados com o consumo de combustível.

O consumo de combustível expresso por unidade de área mobilizada (consumo de combustível por hectare,  $C_{ha}$ ) constitui uma importante referência do desempenho do tractor agrícola, podendo ser utilizado como indicador das vantagens e desvantagens de diferentes formas de condução, mas também como ferramenta de apoio na análise da eficiência de itinerários técnicos alternativos, contribuindo para a estimativa dos custos de operação e para a avaliação do dimensionamento do conjunto tractor-alfaia. Este parâmetro traduz o envolvimento das diversas variáveis que condicionam o rendimento global da transformação do combustível fornecido ao motor em trabalho útil efectuado pela alfaia em mobilização do solo.

Neste artigo são apresentados os resultados obtidos em ensaios de campo de tracção, desenvolvidos em condições de trabalho reais no Alentejo. Estes ensaios foram realizados pela equipa de mecanização agrícola da Universidade de Évora, em colaboração com o INETI e com a UTAD, no âmbito do projecto PAMAF 8.140.

## REVISÃO DO ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS

São encontradas na literatura algumas referências à possibilidade de prever o consumo útil de combustível por hectare de um tractor em trabalhos de mobilização do solo. Entenda-se por consumo útil o que se refere apenas a trajectos operativos, não considerando as manobras das cabeceiras ou eventuais sobreposições.

A Equação 1 é apresentada por Bowers (1985 & 1989) e por Riethmuller (1989), encontrando-se no Quadro 1 os valores propostos pelos autores para cada um dos parâmetros em causa, à excepção da tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia, o que permite uma estimativa do consumo de combustível por hectare a partir deste parâmetro.

$$C_{ha} = \frac{C_e \times \mathfrak{S}}{0,36 \times \rho_g \times \eta_m \times \eta_t} \quad (1)$$

onde  $C_{ha}$  é o consumo útil por hectare ( $l \text{ ha}^{-1}$ ),  $C_e$  é o consumo específico ( $g \text{ kWh}^{-1}$ ),  $\mathfrak{S}$  é a tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia ( $\text{kN m}^{-1}$ ), 0,36 é um factor de conversão de unidades,  $\rho_g$  é a massa específica do gasóleo ( $g \text{ l}^{-1}$ );  $\eta_m$  é o rendimento mecânico da transmissão (decimal) e  $\eta_t$  é o rendimento de tracção (decimal).

Quadro 1 – Valores dos parâmetros da equação 1, propostos por Bowers (1985 & 1989) e propostos por Riethmuller (1989)

Parâmetro	Bowers (1985 & 1989)	Riethmuller (1989)
Consumo específico ( $C_e$ )	0,374 $l \text{ kWh}^{-1}$ , de acordo os ensaios de Nebraska realizados desde 1968 para graus de utilização da potência entre 60 e 80%	0,278 $kg \text{ kWh}^{-1}$ , como média de 100 tractores ensaiados em Nebraska a 85% da potência nominal
Massa específica do gasóleo ( $\rho_g$ )	808 $g \text{ l}^{-1}$	840 $g \text{ l}^{-1}$
Rendimento mecânico da transmissão ( $\eta_m$ )	0,96 (com base nos Standards da ASAE)	0,96 (com base nos Standards da ASAE)
Rendimento de tracção em tractores de 4 rodas motoras ( $\eta_t$ )	0,77 em solos firmes; 0,64 em solos mobilizados e 0,53 em solos soltos ou arenosos	0,847 em solos firmes; 0,73 em solos mobilizados e 0,626 em solos soltos

De entre os parâmetros que influenciam o consumo de combustível por hectare, o consumo específico do motor ( $C_e$ ) reflecte fundamentalmente o efeito do regime do motor e do grau de utilização da potência disponível. A análise dos resultados de ensaios de tractores de diferentes fabricantes, com potências entre 53 e 110kW (cerca de 70 a 150 CV), realizados na estação de testes alemã “DLG” e publicados na revista “profi International” (Quadro 2), revelou um reduzido intervalo de variação do consumo específico entre diferentes modelos de tractores, para as mesmas condições de utilização.

A massa específica do gasóleo ( $\rho_g$ ), por outro lado, apresenta apenas uma pequena variação com a temperatura. Por exemplo, Billot (1999) determinou valores de massa específica do gasóleo de 854 e 840  $g \text{ l}^{-1}$ , respectivamente a 15 e a 35°C.

**Quadro 2** – Consumo específico ( $\text{g kWh}^{-1}$ ) de diferentes modelos de tratores agrícolas em diversas condições de trabalho; resultados de ensaios realizados na estação de teste da “DLG” (Serrano, 2002)

Parâmetros estatísticos	Grau de utilização da potência nominal		
	60%	80%	
	60% do regime nominal	90% do regime nominal	100% do regime nominal
Média ( $\text{g kWh}^{-1}$ )	230	250	280
Coefficiente de variação (%)	3	5	6
Intervalo de variação ( $\text{g kWh}^{-1}$ )	[223-246]	[234-277]	[259-309]

Ainda na Equação 1, o rendimento total de tracção ( $\eta_t$ , produto do rendimento mecânico da transmissão,  $\eta_m$ , pelo rendimento de tracção,  $\eta_r$ ) é, de acordo com a ASAE Standards (2000: ASAE D497.4MAR99), máximo em situações de solo não mobilizado, podendo atingir os 70%, com tendência para diminuir em condições de solo mobilizado. Este rendimento pode manter-se próximo do máximo em solos secos, correspondendo a boas situações de tracção dos pneus, com valores de patinagem da ordem dos 10-15% (ASAE Standards, 2000).

As considerações anteriores permitem concluir que a massa específica do gasóleo, o consumo específico do motor e o rendimento total de tracção são parâmetros previsíveis em determinadas condições de trabalho. Assim, admitindo uma escolha criteriosa do momento adequado para intervir no solo e garantidas correctas regulações ao nível do regime do motor, da relação de transmissão da caixa de velocidades, da pressão de enchimento dos pneus e do lastro do tractor, o consumo de combustível por hectare de um tractor agrícola em trabalho de mobilização do solo é determinado fundamentalmente pelo esforço de tracção solicitado pela alfaia.

Bowers (1989) publicou resultados em que, entre outros parâmetros, apresentou a tracção na barra por unidade de largura de trabalho ( $\mathfrak{S}$ , em  $\text{kN m}^{-1}$ ) e o consumo por hectare ( $C_{ha}$ , em  $\text{l ha}^{-1}$ ). Estes resultados, obtidos em 10 locais, com diferentes características de solos e com 4 modelos de alfaia de mobilização (grades de discos “offset” e “tandem”, chisel e charrua), podem ser traduzidos na forma de uma equação linear (Equação 2), que relaciona as variáveis referidas com um elevado coeficiente de determinação (0,92) e que traduz uma simplificação da Equação 1.

$$C_{ha} = 2,376 + 1,2369 \times \mathfrak{S} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde  $C_{ha}$  é o consumo por hectare ( $\text{l ha}^{-1}$ ) e  $\mathfrak{S}$  é a tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia ( $\text{kN m}^{-1}$ ).

Zhengping *et al.* (1986) apresentaram o consumo por hectare previsto para as diferentes operações de mobilização do solo, em função do tipo de solo, baseados nas indicações dos Standards da ASAE, admitindo os pressupostos de que as alfaias estão bem dimensionadas para os tratores e de que foi seleccionada a velocidade óptima. Para a grade de discos indicam as seguintes previsões de consumo por hectare:  $9,0 \text{ l ha}^{-1}$  em solo argiloso (textura fina);  $7,2 \text{ l ha}^{-1}$  em solo franco-argiloso ou franco-limoso (textura média) e  $4,8 \text{ l ha}^{-1}$  em solo franco-arenoso (textura grosseira). Este acréscimo de 50% no consumo por hectare ao passar de solo de textura grosseira para solo de textura média e o acréscimo de 25% ao passar de solo de textura média para solo de textura fina, correspondem exactamente aos acréscimos das solicitações de tracção indicados pela ASAE Standards (1995: ASAE D497.2 MAR94) entre os mesmos grupos de texturas, o que pressupõe a admissão de uma estreita correlação entre o consumo por hectare e o esforço de tracção solicitado pelas alfaias.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de campo tiveram lugar em diferentes tipos (texturas) e condições de solo (não mobilizado, gradado, lavrado). Foram utilizados diversos modelos de tratores e de grades de discos "offset" dos agricultores, tendo sido testadas várias situações de lastro, de pressão de enchimento dos pneus, de regime de funcionamento do motor, de relações de transmissão da caixa de velocidades, para além de diversas regulações nas grades de discos (Serrano, 2002).

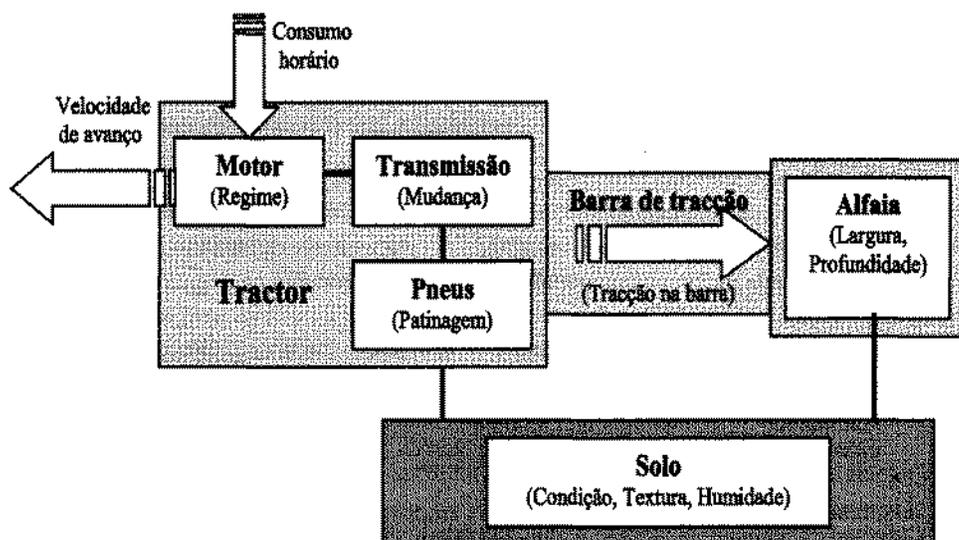


Figura 1 — Variáveis registadas nos ensaios realizados

Foi desenvolvido e instalado um sistema de aquisição de dados (Serrano, 2002) que permitiu o registo dos seguintes parâmetros (Figura 1): regime do motor, velocidade de avanço, patinagem das rodas, consumo horário de combustível e tracção na barra. Para além destes foram também medidos, a largura e a profundidade de trabalho e avaliadas as características dos solos (textura, condição e teor de humidade).

Os tractores foram também submetidos a ensaios num freio dinamométrico ligado à tomada de força, que permitiram a obtenção do consumo específico do motor e o estabelecimento das respectivas curvas de desempenho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na perspectiva de optimização do desempenho do conjunto tractor-alfaia em mobilização do solo, foram testadas diversas variáveis com importância na eficiência energética do conjunto em trabalho:

### **O par regime/relação de transmissão da caixa de velocidades**

A gestão das opções que se oferecem ao operador de um tractor agrícola, ao nível do regime de funcionamento do motor e da relação de transmissão da caixa de velocidades, representa um dos aspectos com maior impacto na eficiência de utilização do combustível. Nos ensaios realizados foram testadas as seguintes combinações regime-mudança:

- a) Selecção de um regime do motor de cerca de 80% do regime nominal (2200 rpm) e à escolha, por tentativas, da mudança mais alta permitida;
- b) Selecção do regime nominal do motor e de mudanças abaixo da mais alta que as condições de trabalho permitiriam, procurando manter a velocidade de trabalho, obtida na regulação anterior.

No procedimento de selecção da mudança mais alta permitida em cada situação de ensaio, impuseram-se 3 condições:

- a combinação regime-mudança não devia conduzir a velocidades de trabalho excessivas tendo em conta a segurança e o conforto do operador;
- a velocidade assim obtida não devia colocar em questão os objectivos técnicos e a qualidade do trabalho pretendido;
- o par mudança-regime assim definido não devia conduzir a situações de sobrecarga do motor; sempre que se verificassem quebras do regime em carga superiores a 200 rpm relativamente ao regime estabelecido em vazio, o operador seleccionava uma mudança imediatamente abaixo.

Os resultados obtidos comprovaram a importância da correcta gestão do par mudança-regime, tendo evidenciado que a técnica de escolher mudanças mais altas e regimes mais baixos pode conduzir a importantes economias de combustível (redução média

do consumo por hectare entre 15 e 20%) relativamente à utilização comum de regimes perto do regime nominal do motor e da selecção de mudanças baixas.

### **A utilização de lastro líquido nos pneus**

A utilização de lastro líquido nos pneus dos tractores agrícolas é muito habitual nas explorações agrícolas do Alentejo. O argumento principal de que se servem os agricultores para justificarem esta opção prende-se com a redução das oscilações sentidas pelos operadores, especialmente em solos lavrados.

Se, no mínimo, é discutível a utilização de lastro líquido em face da perspectiva de conforto do operador, já em termos de compactação do solo, é de esperar que esta aumente nas situações de pneus lastrados de água, com as consequências negativas que se conhecem.

Foram testadas 2 situações de lastragem do tractor:

- situação com lastro líquido nos pneus, correspondente à utilização de lastro líquido nas rodas, a 75% do seu nível máximo; situação típica no Alentejo;
- situação sem lastro líquido nos pneus.

No que respeita ao consumo de combustível por hectare, verificou-se uma diminuição sistemática deste parâmetro na situação de ensaio sem lastro líquido nas rodas, com especial impacto nas condições de solo mobilizado, onde a redução chegou a atingir 11%. Pode, por isso, pôr-se em causa a necessidade deste lastro adicional em condições habituais de utilização dos tractores agrícolas em mobilização do solo para instalação de culturas de sequeiro no Alentejo. O argumento apresentado pelos agricultores pode não servir tendo em conta as possibilidades de regulação que permitem actualmente os assentos do condutor e a tendência para estas possibilidades não serem exploradas.

### **A pressão de enchimento dos pneus**

A gestão da pressão de enchimento dos pneus é um processo simples, todavia, pouco utilizado pelos agricultores, que tendem a optar por pressões de enchimento relativamente elevadas, independentemente do tipo de utilização do tractor, justificadas pela menor deflexão como forma de preservação da vida útil do pneu.

Os ensaios para avaliação desta variável tiveram lugar em duas condições de solo (lavrado ou lavrado e gradado), tendo sido considerados 3 níveis crescentes de pressão de enchimento dos pneus:

- p1: com base nas tabelas de recomendações do fabricante dos pneus;
- p2: a partir da recomendação apresentada no “Manual do Operador” do tractor em causa;
- p3: mais elevado, tendo sido incluído atendendo à frequência com que estas pressões são encontradas nos tractores agrícolas utilizados na região.

Verificou-se que o consumo de combustível por hectare registou acréscimos da ordem dos 10 a 15% na situação de pressão mais elevada (p3), relativamente à situação de pressão recomendada pelas tabelas de carga-pressão dos fabricantes de pneus (p1). Pode assim considerar-se que a pressão mais elevada é, à partida, excessiva, uma vez que se espera que promova maior compactação do solo e é também aquela que se espera que menos amortea as vibrações resultantes das rugosidades que o pneu encontra no solo. A pressão mais baixa, apresenta uma melhoria significativa do indicador consumo por hectare, no entanto, é também a situação em que se espera um maior desgaste dos pneus, em particular na ligação do talão do pneu à jante. Por essa razão, encontra no agricultor as maiores reservas, exigindo o restabelecimento de pressão mais elevada sempre que o tractor se deslocar em pavimento rígido, para garantir o cumprimento da vida útil normal dos pneus. A indicação do fabricante de tractores, aconselhando uma pressão intermédia, estabelece o compromisso entre a conservação do pneu e a aderência do mesmo, sem comprometer o consumo de combustível por hectare. Esta é a forma de libertar o agricultor da preocupação do ajustamento da pressão de enchimento dos pneus, atendendo às utilizações bastante diversas a que o tractor está sujeito, e sabendo também que na larga maioria das horas de trabalho o mesmo se encontrará em situações de transporte em pavimento rígido.

#### **A regulação da abertura dos corpos da grade e a adaptação da velocidade de trabalho**

As actuais grades de discos "offset", equipadas com actuadores hidráulicos, comandados a partir do posto de condução do tractor, permitem uma fácil regulação da abertura dos corpos e uma adaptação permanente às condições de trabalho encontradas. Visto que esta regulação tem efeito sobre o esforço de tracção solicitado pela grade de discos, o operador pode conjugar a abertura da grade com a velocidade de trabalho, de forma a garantir o efeito desejado no solo, procurando reduzir os custos de produção.

Nos ensaios realizados foram consideradas as seguintes possibilidades:

- a) Abertura máxima dos corpos da grade permitida em cada local e condição de solo;
- b) Abertura menor dos corpos da grade, sem comprometer o efeito mecânico sobre o solo e que, sempre que possível, permitisse a selecção de mudanças mais altas.

A questão energética encontra-se reflectida no consumo de combustível por hectare. O combustível é fornecido ao motor para produzir como resultado final a mobilização do solo. Nesta transformação, o efeito pretendido, de fragmentação do solo, se for realizado com maior eficiência, reflecte-se num menor consumo de combustível por unidade de área trabalhada. Os factores que afectam esta transformação integram:

- a parte do tractor, traduzida pelo rendimento do motor, pelo rendimento mecânico da transmissão às rodas e pelo rendimento de tracção dos pneus em interacção com o solo;
- o rendimento da alfaia na forma como transforma a energia que recebe do tractor em energia de fragmentação do solo.

Os resultados mostraram uma importante diminuição do consumo de combustível por hectare nas situações de menor abertura dos corpos da grade e maior velocidade de trabalho. O resultado desta maior eficiência energética deve-se à maior eficiência com que a alfaia actua no solo nesta opção, o que reforça o interesse em adequar a regulação da abertura dos corpos da grade e da velocidade de avanço em cada situação concreta de trabalho, procurando otimizar o desempenho do tractor.

### **Comportamento dos tractores em ensaios à tomada de força: rendimento do motor**

Ensaio num freio dinamométrico de vários modelos de tractores Massey-Ferguson da série 3000, de 59 a 81 kW de potência máxima, comprovaram as indicações resultantes dos ensaios realizados na estação de testes alemã DLG, referidos na revisão bibliográfica. Assim, ficou demonstrado que o consumo específico do motor ( $C_e$ ) é um parâmetro previsível e relativamente pouco variável em determinadas condições de trabalho, nomeadamente para o mesmo regime de funcionamento do motor, dentro de intervalos de utilização da potência acima de 60% (Quadro 3 e Figura 2), como é habitual em trabalhos de tracção. É, por isso, possível prever o valor desta variável em dois regimes típicos de utilização em operações de mobilização do solo:

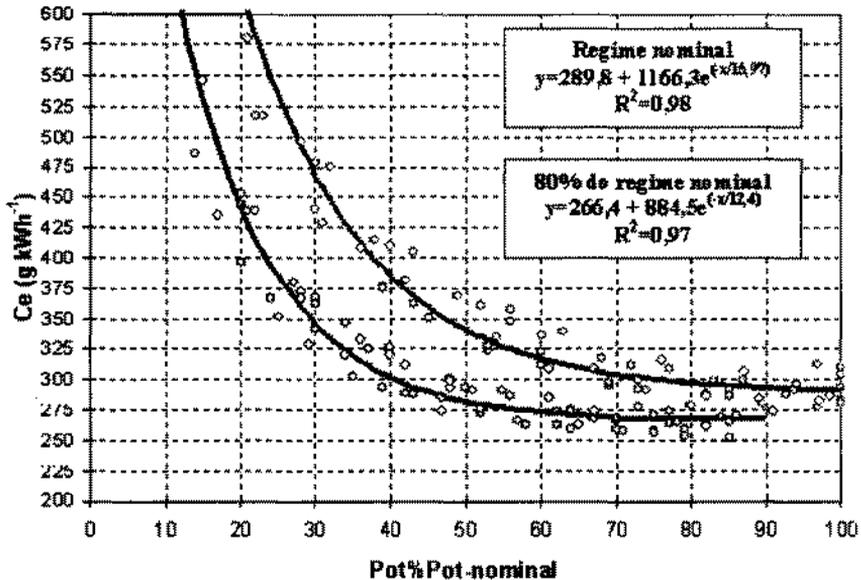
- num regime de cerca de 80% do regime nominal, utilizado em operações que não exigem toda a potência do tractor e em que se procura otimizar o consumo de combustível sem comprometer a capacidade de trabalho, com a obtenção de um consumo específico mínimo e relativamente estável (que, no conjunto de ensaios realizados foi de 270 g kWh<sup>-1</sup>);
- no regime nominal, utilizado em operações exigentes em potência ou quando se pretenda otimizar a capacidade de trabalho, com menor eficiência em termos de consumo de combustível (que, no conjunto de ensaios realizados foi de cerca de 300 g kWh<sup>-1</sup>).

### **Rendimento total de tracção**

A medição dos parâmetros tracção na barra ( $T$ ), velocidade real de avanço ( $v_r$ ) e consumo horário ( $C_h$ ) nos ensaios de campo com tractores e grades de discos em diferentes condições de trabalho, permitiu o cálculo do rendimento total de tracção ( $\eta_{tt}$ ) através da aplicação da Equação 3. Os resultados obtidos em solos de textura média para instalação de culturas de sequeiro no Alentejo, revelaram um valor médio de 70% em solo não mobilizado ou em solo gradado e de 60% em solo lavrado ou lavrado e gradado (Serrano, 2002). Foram admitidos, para o efeito, os valores médios de consumo específico já referidos consoante o grau de utilização do regime do motor (270 g kWh<sup>-1</sup>, a 80% do regime nominal e 300 g kWh<sup>-1</sup>, ao regime nominal) e uma massa específica média do gasóleo de 840 g l<sup>-1</sup>.

**Quadro 3** – Consumo específico ( $\text{g kWh}^{-1}$ ) de diferentes condições de trabalho de tractores Massey-Ferguson da série 3000 obtidos à tomada de força (Serrano, 2002)

Grau de utilização do regime nominal	Grau de utilização da potência nominal			
	80%	100%	80%	100%
Consumo específico ( $\text{g kWh}^{-1}$ ) Intervalo de variação no conjunto dos tractores	[260-280]	[300-330]	[260-290]	[280-302]



**Figura 2** — Consumo específico de tractores Massey-Ferguson, em função do grau de utilização da potência nominal, em dois regimes do motor: regime nominal e 80% do regime nominal (Serrano, 2002)

$$\eta_{II} = \frac{C_e \times T \times v_r}{3,6 \times \rho_g \times C_h} \quad (3)$$

onde  $\eta_{II}$  é o rendimento total de tracção, correspondente ao produto do rendimento mecânico da transmissão pelo rendimento de tracção (decimal);  $C_e$  é o consumo específico do motor ( $\text{g kWh}^{-1}$ ),  $g$  é a massa específica do gasóleo ( $\text{g l}^{-1}$ ),  $T$  é a tracção na barra (kN),  $v_r$  é a velocidade de trabalho ( $\text{km h}^{-1}$ ),  $C_h$  é o consumo horário de combustível ( $\text{l h}^{-1}$ ) e 3,6 é um factor de conversão de unidades.

### Das solicitações de tracção ao dimensionamento do tractor

O estabelecimento de um modelo de dimensionamento tractor-alfaia, baseado na medição do esforço de tracção solicitado em condições reais de trabalho permite aos fabricantes uma indicação fiável da potência recomendada a cada modelo de grade que produzem, facultando, desta forma, ao agricultor a informação de que precisa para a sua tomada de decisão, no que respeita à selecção do conjunto tractor-alfaia adequado à sua exploração. O dimensionamento deste par tractor-alfaia tem implicações importantes na produtividade e na eficiência do trabalho.

Os resultados obtidos conduziram ao estabelecimento de um modelo de previsão da tracção na barra a partir da massa da grade de discos (Equação 4).

$$T = 7,3965 * m + 7541,6 \quad (4)$$

onde T é a tracção na barra (N), m é a massa da grade (kg).

Este modelo pode ser utilizado na previsão ao dimensionamento tractor-grade de discos, para condições normais de instalação de culturas de sequeiro no Alentejo, em solos de textura média. Nestas condições é sugerida uma relação potência do tractor/largura da grade de discos de 37,5 a 50 CV m<sup>-1</sup>.

São ainda indicadores de dimensionamento a capacidade de trabalho ( $C_t$ , em ha/h) e consumo por hectare ( $C_{ha}$ , em l ha<sup>-1</sup>), os quais desempenharão um papel importante no apoio à tomada de decisão do agricultor, não só como referências na escolha do par largura da alfaia — potência do tractor, mas também na gestão correcta do conjunto em trabalho, permitindo ao operador aproveitar as possibilidades que os modernos equipamentos oferecem por forma a optimizarem estes dois parâmetros (Figura 3).

As situações de incorrecto dimensionamento resultarão em reduzidas capacidades de trabalho e consumos de combustível por hectare agravados. O limite, no caso de alfaias pequenas para o tractor, será imposto pela velocidade de trabalho, a qual deve garantir a segurança e o conforto do operador e a qualidade do trabalho. No caso de alfaias grandes, em que o limite é imposto pela capacidade de tracção do tractor, a patinagem das rodas motoras funciona como um fusível indicador. Todas estas informações, velocidade, patinagem, capacidade de trabalho e consumo de combustível, estão disponíveis ao operador nos sistemas de informação que equipam muitos dos modernos tractores agrícolas. É preciso sensibilizar os agricultores e formar os operadores para que ambos possam utilizar os referidos sistemas como ferramentas imprescindíveis à tomada de decisão.

### Do esforço de tracção ao consumo de combustível por hectare

A condução correcta do conjunto tractor-alfaia em mobilização do solo permite minimizar o consumo de combustível por hectare, reduzindo a pequenos intervalos a variação dos principais parâmetros que o determinam e permitindo o estabelecimento de uma relação aproximadamente linear com a tracção na barra por metro de largura de trabalho da alfaia, para cada regime de funcionamento do motor e em cada condição de solo.

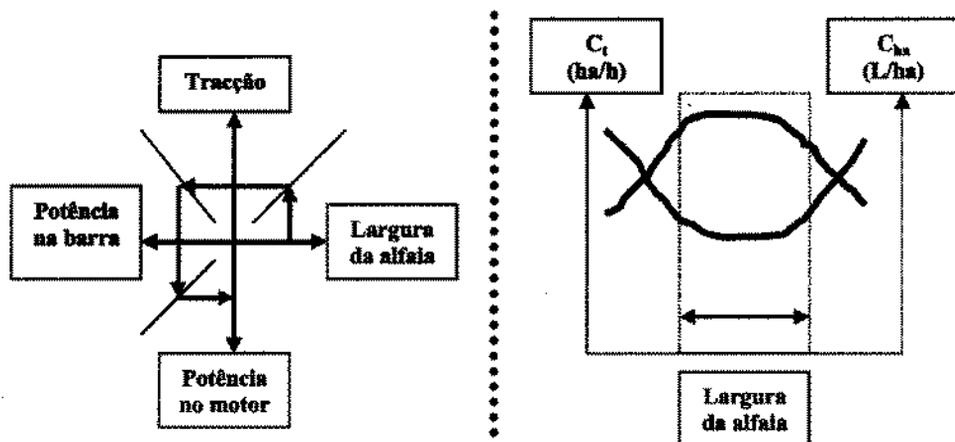


Figura 3 — A largura de trabalho da alfaia no estabelecimento da dimensão do tractor (à esquerda) e na avaliação de indicadores de dimensionamento (à direita)

## CONCLUSÕES

O valor prático inerente à comprovação desta relação entre o consumo de combustível por hectare ( $C_{ha}$ ) e a tracção por unidade de largura de trabalho ( $\mathfrak{S}$ ) prende-se com a possibilidade de comparar diferentes sistemas de mobilização do solo, com diferentes exigências de tracção, correspondendo, por isso, a custos energéticos diferenciados, traduzidos em termos de consumo de combustível por hectare. É de esperar que sistemas de preparação do solo para instalação de culturas baseados na realização de lavoura, exigente em esforço de tracção, tenham associados elevados consumos de combustível por unidade de área trabalhada, relativamente à preparação do solo assente em mobilizações superficiais ou em relação a mobilizações de conservação de solo.

A relação geral entre o  $C_{ha}$  e  $\mathfrak{S}$  depende do rendimento global da transformação da energia fornecida ao motor em trabalho realizado pela alfaia. O rendimento global máximo, correspondente ao consumo mínimo por hectare, pode ser utilizado como referência na avaliação do dimensionamento do conjunto tractor-alfaia. Este rendimento global máximo corresponderá à concretização simultânea do mínimo consumo específico do motor ( $C_e$ ), do máximo rendimento mecânico da transmissão entre o motor e a rodas ( $\eta_m$ ) e do máximo rendimento de tracção dos pneus em interacção com o solo ( $\eta_D$ ). Relativamente ao primeiro, os ensaios de tractores na estação de testes alemã DLG, cujos resultados são publicados regularmente na revista "profi International", permitem estimar, para um grau de utilização da potência máxima do motor de cerca de 80%, um  $C_e$  mínimo de cerca de 230 g kWh<sup>-1</sup>. No que se refere ao rendimento total de tracção ( $\eta_{tt} = \eta_m \times \eta_D$ ), a ASAE Standards (2000: ASAE D497.4MAR99) indica, para tractores de quatro rodas motoras e em solo não mobilizado, um valor máximo de cerca de 72%.

O rendimento global máximo esperado para operações de mobilização do solo, resultante destas condições optimizadas, conduz ao valor de referência de consumo por hectare. Qualquer conjunto tractor-alfaia em operação conduzirá a valores superiores de  $C_{ha}$  e quanto mais se afastar este valor do valor de referência mais inadequado será o par tractor-alfaia ou mais incorrectas serão as regulações efectuadas.

Optimizadas as regulações ao nível do regime do motor e da relação de transmissão da caixa de velocidades, do lastro e da pressão de enchimento dos pneus e dos ajustamentos ao nível da alfaia, foi possível estabelecer equações de referência para condições de trabalho típicas no Alentejo.

O Quadro 4 apresenta os coeficientes ( $a$  e  $b$ ) da equação linear de regressão entre as variáveis  $C_{ha}$  e  $\mathfrak{S}$ , obtidos para diferentes condições de utilização de tractores agrícolas, em mobilização de solos de textura média, em sequeiro.

**Quadro 4** – Coeficientes ( $a$  e  $b$ ) da equação ( $C_{ha} = a + b \mathfrak{S}$ ), obtidos a partir dos resultados dos ensaios de campo realizados (Serrano, 2002)

Coeficientes da equação	Grau de utilização do regime nominal do motor			
	100 %		80 %	
	a	b	a	b
Solo não mobilizado	-0,5939	1,4350	-0,2474	1,2097
Solo Gradado	0,2942	1,3822	-0,0782	1,2446
Solo lavrado ou lavrado e gradado	1,8454	1,4103	1,7871	1,1854

A Figura 4 enquadra, com a linha de referência correspondente ao rendimento global máximo, as relações entre  $C_{ha}$  e  $\mathfrak{S}$ , estabelecidas a partir dos resultados de ensaios de campo realizados em solo não mobilizado. Pode comprovar-se a maior aproximação ao rendimento global máximo ou seja, à linha de referência, da situação de ensaio com um regime de funcionamento do motor de 80% do regime nominal, relativamente às situações de ensaio ao regime nominal.

Idêntico diagrama poderá ser elaborado para as condições de solo mobilizado (gradado ou lavrado), aplicando os respectivos coeficientes  $a$  e  $b$  do Quadro 4. Será possível também comprovar nestas situações um maior afastamento da linha de referência (rendimento global máximo), relativamente às situações de solo não mobilizado, como resultado da quebra do rendimento de tracção nessas condições.

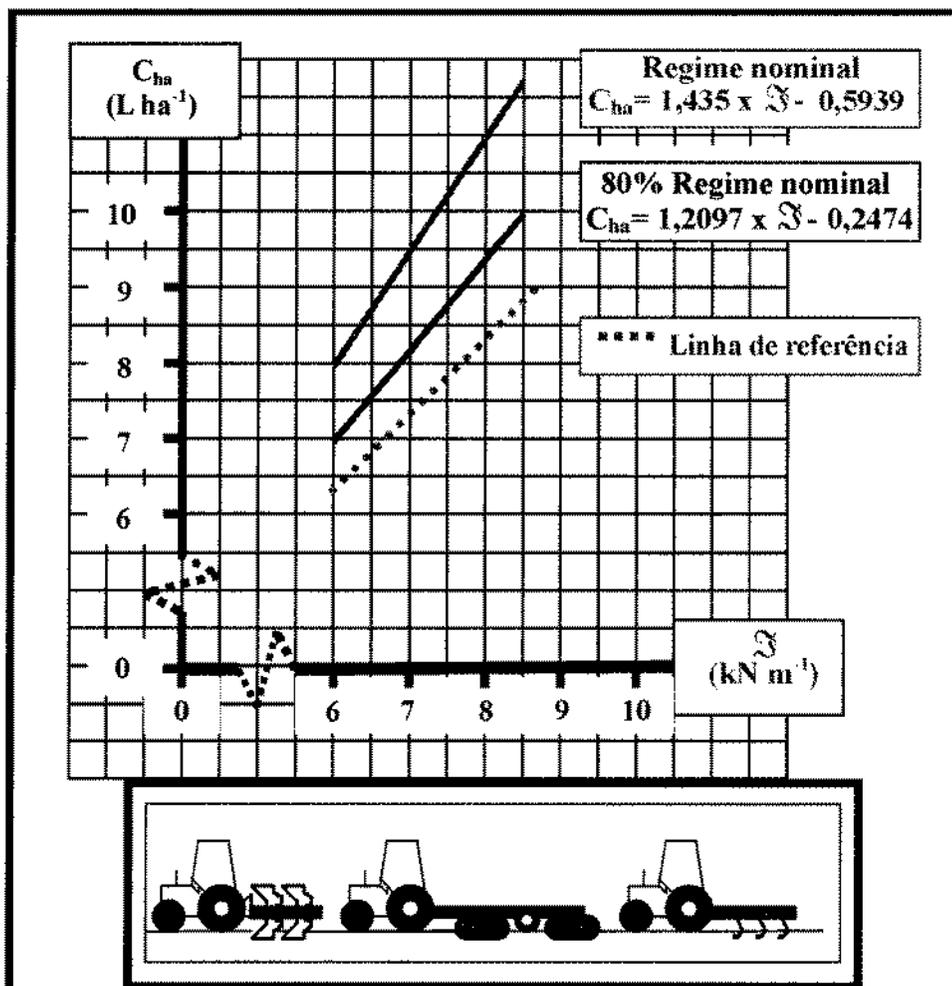


Figura 4 — Previsão do consumo útil por hectare a partir da tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia: enquadramento na linha de referência correspondente ao máximo rendimento global

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE 1995. ASAE D497.2 MAR94 — Agricultural Machinery Management Data. *ASAE STANDARDS*, 42<sup>th</sup> Edition. St. Joseph, Mich. ASAE, 335-341.
- ASAE 2000. ASAE D497.4 MAR99 — Agricultural Machinery Management Data. *ASAE STANDARDS*, 47<sup>th</sup> Edition. St. Joseph, Mich. ASAE, 350-357.
- BILLOT, J.F. 1999. *Masse volumique du carburant*. Ensaio de tratores agrícolas no Cemagref, documento não publicado.

- BOWERS, C.G.J.R. 1985. Southeastern Tillage Energy Data and Recommended Reporting. *Transactions of the ASAE*; Vol. 28(3), 731-737.
- BOWERS, C.G.J.R. 1989. Tillage Draft and Energy Measurements for Twelve Southeastern Soil Series. *Transactions of the ASAE*; Vol. 32(5), 1492-1502.
- RIETHMULLER, G.P. 1989. Draft Requirements of Tillage Equipment in the Western Australian Wheatbelt. *Agricultural Engineering Australia*, Vol. 18, N.os 1 e 2, 17-22.
- SERRANO, J.M. 2002. *Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo*. Tese de Doutoramento, Serviços de Reprografia e Publicações da Universidade de Évora, 234.
- ZHENGPING, W., KJELGAARD, W.L. & PERSSON, S.P.E. 1986. Machine Width for Time and Fuel Efficiency. *Transactions of the ASAE*; Vol. 29 (6): November-December, 1508-1513.