

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DO TRACTOR AGRÍCOLA EM TRABALHOS DE TRACÇÃO

João M.P.R. Serrano*, José O. Peça*, Anacleto C. Pinheiro*, Mário de Carvalho*,
Mário Nunes**, Luís Ribeiro**, Fernando Santos***

*Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural; E-mail: jmrs@uevora.pt

** INETI, Laboratório de Medidas Eléctricas;

***UTAD, Departamento de Fitotecnia e de Engenharia Rural;

Resumo: O consumo de combustível por hectare é o principal indicador técnico de avaliação da eficiência energética de utilização do tractor agrícola, constituindo uma importante referência do desempenho 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 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 e para estabelecer equações de referência que relacionem o consumo de combustível por hectare com o esforço de tracção solicitado pela alfaia. Estas poderão ser utilizadas para comparar sistemas de mobilização do solo alternativos, com diferentes exigências de tracção, ou para avaliar o dimensionamento do conjunto tractor-alfaia.

1. 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.

Neste artigo e na perspectiva de avaliar a eficiência energética de utilização do tractor agrícola são apresentados os resultados obtidos em ensaios de campo de tracção (figura 1), desenvolvidos em condições de trabalho reais no Alentejo, e ensaios de tractores com um freio dinamométrico. 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.

2. Aspectos teóricos de análise

A eficiência de transformação energética do combustível fornecido ao motor do tractor em trabalho útil realizado pela alfaia encontra-se dependente de um conjunto de parcelas de rendimento: do próprio motor, da transmissão às rodas, da interacção dos pneus com o solo e da interacção dos órgãos activos da alfaia com o solo. Qualquer destas parcelas de rendimento é condicionada pela eficiência do operador.

Na literatura são encontradas algumas referências que relacionam o conjunto de parcelas de rendimento referidas com o consumo de combustível por unidade de área trabalhada (consumo por hectare, Cha, em L/ha).

A equação 1 é apresentada por Bowers [1,2] e por Riethmuller [3]:

$$C_{ha} = \frac{C_e \times \mathfrak{S}}{0,36 \times \rho_g \times \eta_m \times \eta_t \times \eta_c} \dots\dots(\text{Eq. 1})$$

Onde: Cha-consumo por hectare (L/ha); C_e -consumo específico (g/kWh); \mathfrak{S} -tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia (kN/m); 0,36-factor de conversão de unidades; ρ_g -massa específica do gasóleo (g/L); η_m -rendimento mecânico da transmissão (decimal); η_t -rendimento de tracção (decimal); η_c -rendimento de campo (decimal).

A equação 1 pode tomar a forma da equação 2, sendo o denominador uma representação do rendimento global da transformação de energia, onde se inclui o rendimento do motor (proporcional ao

inverso do consumo específico, C_e), o rendimento mecânico da transmissão entre o motor e as rodas (η_m) e o rendimento de tracção ou rendimento dos pneus em interacção com o solo (η_t). O rendimento global é o quociente entre a energia utilizada pela alfaia (trabalho realizado) e a energia (combustível) fornecida ao motor, ou, em termos de potência, é o quociente entre a potência na barra ($T \cdot v_r$) e a energia, sob a forma de combustível (Ch), fornecida por unidade de tempo ao motor (equação 3). Uma vez que as variáveis tracção na barra, velocidade real de avanço e consumo horário foram medidos nos ensaios de campo realizados (figura 2), é possível estimar a importância relativa das diferentes parcelas do rendimento no consumo por hectare.

$$C_{ha} = \frac{3}{0,36 \times \rho_g \times \eta_m \times \eta_t \times \frac{1}{C_e}} \dots\dots\dots(\text{Eq.2})$$

$$3,6 \times \rho_g \times \eta_m \times \eta_t \times \frac{1}{C_e} = \frac{T \times v_r}{C_h} \dots\dots\dots(\text{Eq. 3})$$

Onde: 3,6-factor de conversão de unidades; T- tracção na barra (kN); v_r - velocidade real de avanço (km/h); C_h - consumo horário (L/h).

De entre os parâmetros que influenciam o consumo de combustível por hectare, apresentados na equação 1, 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 1), 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 (ρ_g), por outro lado, apresenta apenas uma pequena variação com a temperatura. Por exemplo, Billot [4] determinou valores de massa específica do gasóleo de 854 e 840 g/L, respectivamente a 15 e a 35°C.

Quadro 1- Consumo específico (g/kWh) de diferentes modelos de tractores agrícolas em diversas condições de trabalho; resultados de ensaios realizados na estação de teste da "DLG" [5].

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

Ainda na Equação 1, o rendimento total de tracção (η_{tt} , produto do rendimento mecânico da transmissão, η_m , pelo rendimento de tracção, η_t) é, de acordo com a ASAE Standards [6], 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%.

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 [2] publicou resultados em que, entre outros parâmetros, apresentou a tracção na barra por unidade de largura de trabalho (\mathfrak{S} , em kN/m) e o consumo por hectare (Cha, em L/ha). Estes resultados, obtidos em 10 locais, com diferentes características de solos e com 4 modelos de alfaias de mobilização (grades de discos "offset" e "tandem", chisel e charrua), podem ser traduzidos na forma de uma equação linear (Equação 4), que relaciona as variáveis referidas com um elevado coeficiente de determinação (0,92).

$$Cha = 2,376 + 1,2369 \times \mathfrak{S} \dots\dots\dots(\text{Eq. 4})$$

Onde: Cha-consumo por hectare (L/ha); \mathfrak{S} -tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia (kN/m).

Zhengping *et al.* [7] 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 tractores e de que foi seleccionada a velocidade óptima. Para a grade de discos indicam as seguintes previsões de consumo por hectare: 9,0 L/ha em solo argiloso (textura fina); 7,2 L/ha em solo franco-argiloso ou franco-limoso (textura média) e 4,8 L/ha 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 [8] 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.

3. Materiais e Métodos

Os ensaios de campo tiveram lugar em diferentes tipos (texturas) e condições de solo (não mobilizado, gradado, lavrado). Foram utilizados equipamentos dos agricultores, que incluíram tractores desde 59 kW a 134 kW de potência no motor e grades de discos "offset" desde 2 a 4 m de largura de trabalho. Foram 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 [6].

Foi desenvolvido e instalado um sistema de aquisição de dados [6] que permitiu o registo dos seguintes parâmetros (figura 2): 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).

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:

3.1. 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 r.p.m. relativamente ao regime estabelecido em vazio, o operador seleccionava uma mudança imediatamente abaixo.

3.2. 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.

3.3. 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.

3.4 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, por 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.

3.5. Comportamento dos tractores em ensaios à tomada de força

Os tractores foram também submetidos a ensaios num freio dinamométrico ligado à tomada de força. Os resultados destes ensaios foram tratados no programa "Surfer" que, através de processos de triangulação e de interpolação linear, permitiu o estabelecimento das curvas de desempenho do motor (figura 3), as quais relacionam o consumo específico do motor com o regime em percentagem do regime nominal (em abcissas), com o grau de utilização da potência nominal (ordenada à direita) e com o momento em percentagem do momento à potência nominal (ordenada à esquerda).

Estas curvas de desempenho representam uma autêntica radiografia das potenciais prestações do motor. A partir desta informação é possível aferir das possibilidades de utilização de um tractor agrícola em diferentes operações culturais, procurando sempre a maior eficiência de conversão do combustível em energia mecânica. O interesse reside, portanto, em minimizar o consumo específico (expresso em gramas de gásóleo por unidade de energia produzida, expressa em kWh), o que se consegue com elevados graus

de utilização da potência máxima e em regimes da ordem dos 70% do regime de potência nominal. São exemplo desta conjugação os trabalhos de mobilização do solo.

4. Apresentação e discussão dos resultados

4.1. O par regime/relação de transmissão da caixa de velocidades

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.

4.2. A utilização de 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.

4.3. A pressão de enchimento dos pneus

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.

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

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 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. Tal facto 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.

4.5. 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 no quadro 1. Assim, ficou demonstrado que o consumo específico do motor (Ce) 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 2; figura 4), 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);

-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).

Quadro 2- Consumo específico (g/kWh) de diferentes condições de trabalho de tractores Massey-Ferguson da série 3000 obtido em ensaios à tomada de força [5].

	Grau de utilização da potência nominal			
	60%		90%	
Grau de utilização do regime nominal	80%	100%	80%	100%
Consumo específico (g/kWh) Intervalo de variação no conjunto dos tractores	[260-280]	[300-330]	[260-290]	[280-302]

4.6. Rendimento total de tracção

A medição dos parâmetros tracção na barra (T), velocidade real de avanço (v_r) e consumo horário (Ch) nos ensaios de campo com tractores e grades de discos em diferentes condições de trabalho, permitiu o cálculo do rendimento total de tracção (η_{tt}) através da aplicação da equação 5. 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 [5]. 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, a 80% do regime nominal e 300g/kWh, ao regime nominal) e uma massa específica média do gasóleo de 840 g/L.

$$\eta_{tt} = \frac{C_e \times T \times v_r}{3,6 \times \rho_g \times Ch} \dots\dots\dots(\text{Eq. 5})$$

Onde: η_{tt} -rendimento total de tracção, correspondente ao produto do rendimento mecânico da transmissão pelo rendimento de tracção (decimal); C_e - consumo específico do motor (g/kWh); ρ_g -massa específica do gasóleo (g/L); T-tracção na barra (kN); v_r -velocidade de trabalho (km/h); Ch-consumo horário de combustível (L/h); 3,6-factor de conversão de unidades.

4.7. 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 6):

$$T = 7,3965 * m + 7541,6 \dots\dots\dots(\text{Eq. 6})$$

Onde: T - tracção na barra (N); m- 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 de largura.

São ainda indicadores de dimensionamento a capacidade de trabalho e consumo por hectare, 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 5).

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.

5. Interesse prático do estabelecimento de uma relação entre o esforço de tracção e o 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.

O valor prático inerente à comprovação desta relação entre o consumo de combustível por hectare (Cha) 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 (figura 6).

A relação geral entre o Cha 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 (Ce), do máximo rendimento mecânico da transmissão entre o motor e a rodas (η_m) e do máximo rendimento de tracção dos pneus em interacção com o solo (η_t). 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 Ce mínimo de cerca de 230 g/kWh [5]. No que se refere ao rendimento total de tracção ($\eta_{tt} = \eta_m \times \eta_t$), a ASAE Standards [6] 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 Cha 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 3 apresenta os coeficientes a e b da equação linear de regressão entre as variáveis Cha e \mathcal{J} , obtidos para diferentes condições de utilização de tratores agrícolas, em mobilização de solos de textura média, em sequeiro.

A figura 7 enquadra, com a linha de referência correspondente ao rendimento global máximo, as relações entre Cha e \mathcal{J} , 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.

Quadro 3- Coeficientes a e b da equação linear ($Cha = a + b \cdot \mathcal{J}$), obtidos a partir dos resultados dos ensaios de campo realizados [5].

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

Idêntico diagrama poderá ser elaborado para as condições de solo mobilizado (gradado ou lavrado), aplicando os respectivos coeficientes a e b do quadro 3. 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 previsível quebra do rendimento de tração nessas condições.

Referências bibliográficas

- [1] -BOWERS, C. G. JR. (1985)-Southeastern Tillage Energy Data and Recommended Reporting. *Transactions of the ASAE*; Vol. 28(3), 731-737.
- [2] -BOWERS, C. G. JR (1989)- Tillage Draft and Energy Measurements for Twelve Southeastern Soil Series. *Transactions of the ASAE*; Vol. 32(5), 1492-1502.
- [3] -RIETHMULLER, G. P. (1989) - Draft Requirements of Tillage Equipment in the Western Australian Whestbelt. *Agricultural Engineering Australia*, Vol. 18, Nºs 1 e 2, 17-22.
- [4] -BILLOT, JEAN-FRANÇOIS (1999) - *Masse volumique du carburant*. Ensaios de tratores agrícolas no Cemagref, documento não publicado.
- [5] -SERRANO, JOÃO 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.
- [6] -*ASAE STANDARDS*, 47th Edition (2000)- ASAE D497.4 MAR99 -Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, Mich. ASAE, 350-357.
- [7] -ZHENGPIING, WU; 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.
- [8] -*ASAE STANDARDS*, 42th Edition (1995)- ASAE D497.2 MAR94 -Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, Mich. ASAE, 335-341.



Figura 1- Ensaios de campo com tractores e grades de discos dos agricultores, em condições de sequeiro no Alentejo [5].

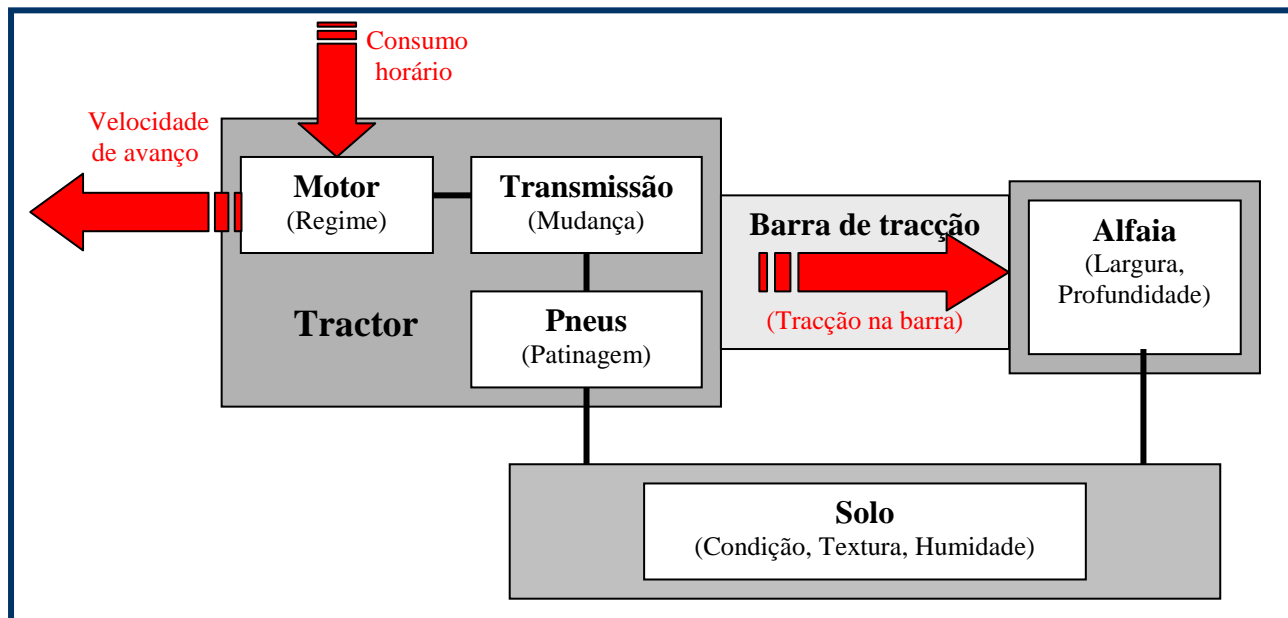


Figura 2- Variáveis medidas nos ensaios de campo.

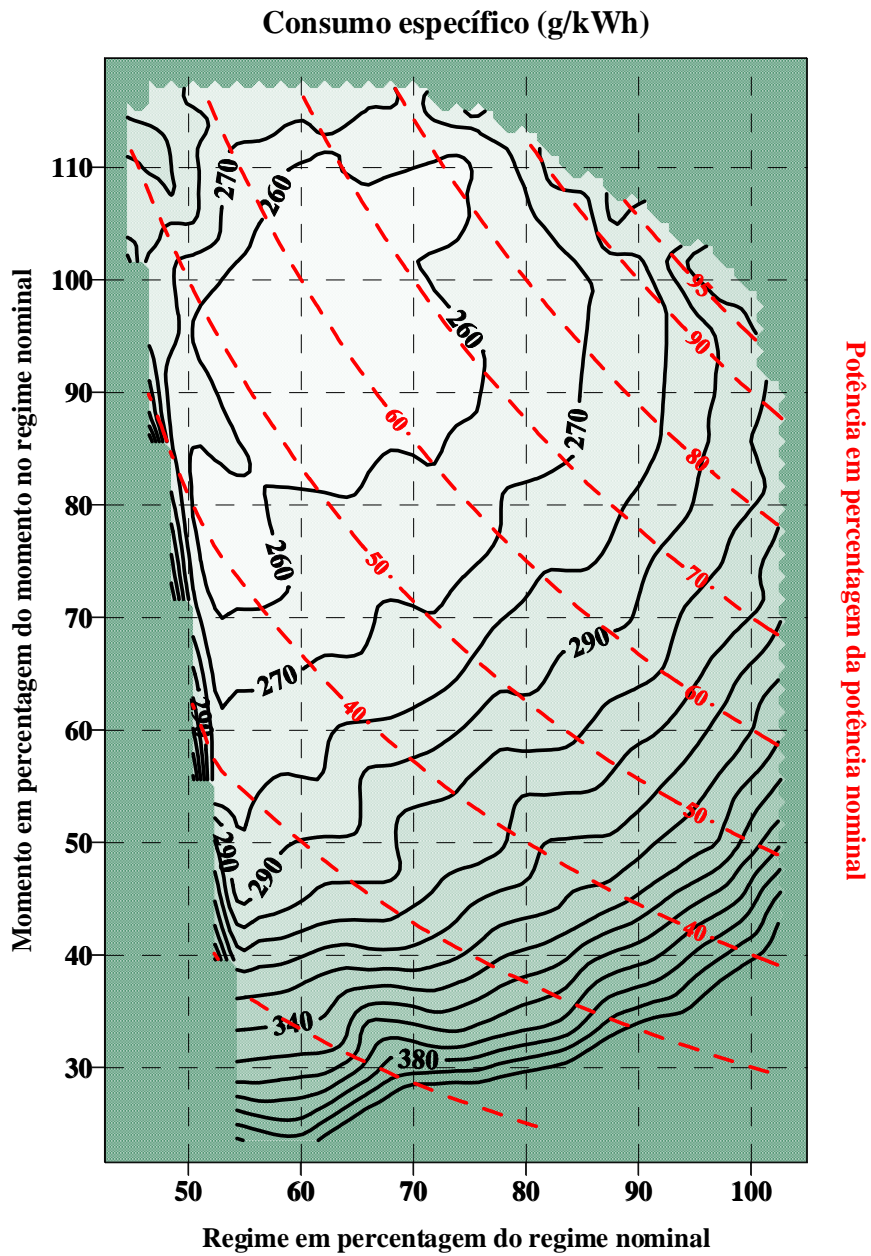


Figura 3 -Curvas de desempenho do tractor Massey-Ferguson 3060 [5].

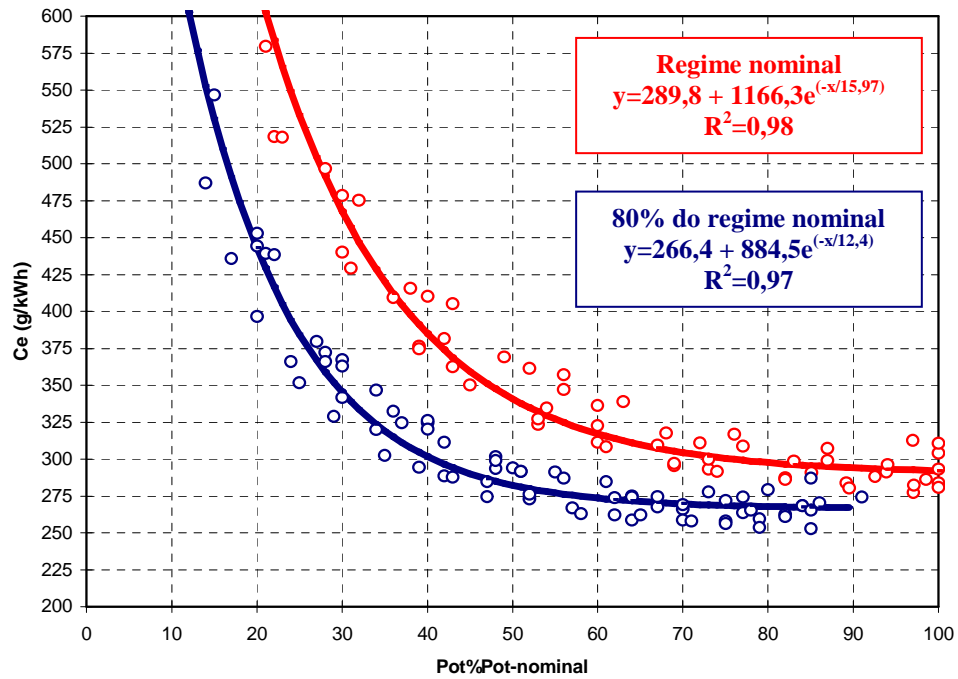


Figura 4 - Consumo específico de tratores Massey-Ferguson, em função do grau de utilização da potência nominal, em dois regimes do motor: regime nominal e 80% do regime nominal [5].

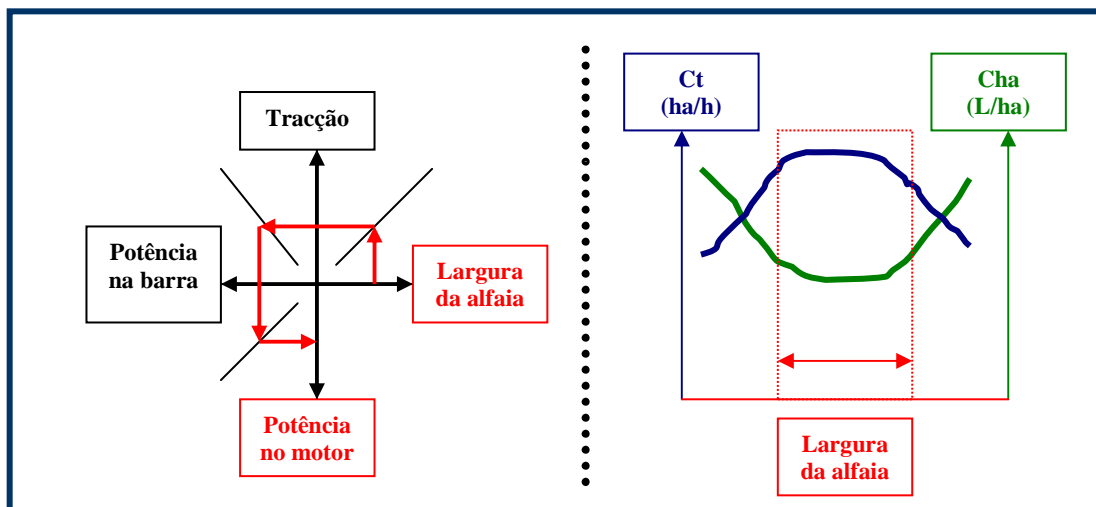


Figura 5- A largura de trabalho da alfaia no estabelecimento da dimensão do tractor (à esquerda) e na avaliação de indicadores de dimensionamento (à direita).



Figura 6-Diferentes itinerários de preparação do solo para a sementeira: desde a lavoura tradicional, passando pelas técnicas de mobilização reduzida até à sementeira directa.

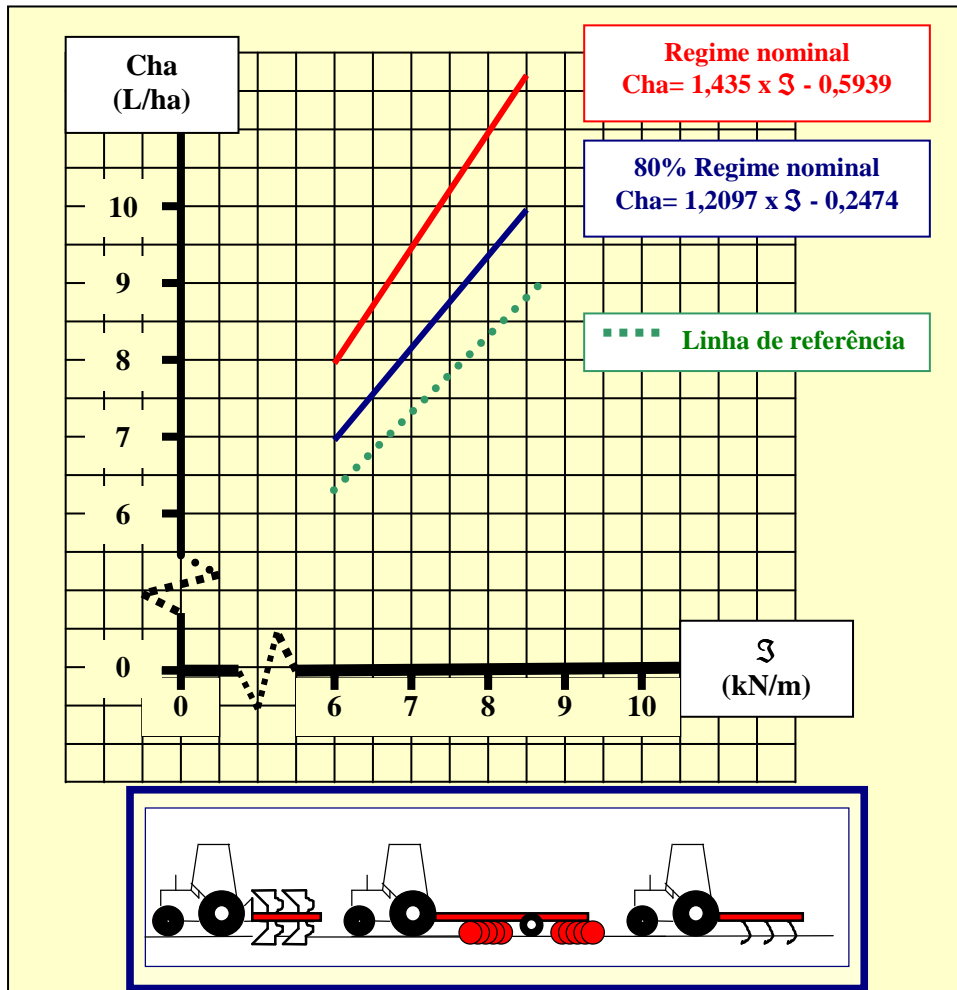


Figura 7-Previsão do consumo útil por hectare a partir da tracção na barra por unidade de largura de trabalho da alfaia: enquadramento na linha de referência correspondente ao máximo rendimento global [5].