

Condução eficiente do tractor agrícola em tracção

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

*Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Departamento de Engenharia Rural, 7000 ÉVORA;

** INETI, Laboratório de Medidas Eléctricas, Estrada do Paço do Lumiar, 1699 LISBOA;

***UTAD, Departamento de Fitotecnia e de Engenharia Rural, Quinta dos Prados, 5000 VILA REAL ;

*jmrs@uevora.pt

RESUMO

Os modernos tractores agrícolas constituem um veículo privilegiado de expansão e desenvolvimento tecnológico. A utilização de sensores electrónicos e de microprocessadores permite actualmente obter informação pertinente sobre o desempenho do conjunto tractor-alfaia e, desta forma, contribuir para a condução eficiente do mesmo, numa perspectiva energética.

Os sistemas de informação comerciais equipam opcionalmente os modelos de tractores agrícolas de média e de grande dimensão, funcionando como sistemas de apoio às tomadas de decisão dos operadores em tempo real, nomeadamente ao nível da gestão das opções que este dispõe em termos de regime de funcionamento do motor ou de relação de transmissão da caixa de velocidades.

Os sistemas de aquisição de dados baseiam-se no mesmo princípio de utilização de sensores e permitem aos investigadores a recolha, o registo e o tratamento posterior das informações, sendo elementos fundamentais para a compreensão da dinâmica de interacção tractor-alfaia.

Este artigo apresenta exemplos de resultados obtidos em ensaios de campo, realizados em condições reais de trabalho, com um tractor agrícola instrumentado com um sistema de aquisição de dados, os quais permitem apreciar as vantagens inerentes à correcta utilização do tractor em trabalhos de tracção, nomeadamente na regulação do par regime-relação de transmissão da caixa de velocidades.

Palavras-chave: Tractor; Instrumentação; Electrónica; Condução eficiente.

1. INTRODUÇÃO

Sentindo uma tendência generalizada, os construtores de tractores agrícolas têm necessidade de criar inovações tecnológicas, capazes de tornar as suas máquinas competitivas e de seduzir os seus clientes em termos de produtividade, de conforto e de redução dos custos de produção.

Por toda a Europa se verifica que a decisão de compra de um tractor agrícola é hoje, cada vez mais, feita por agricultores mais exigentes, escolhendo os seus equipamentos com base em critérios objectivos: preço, qualidade do serviço oferecido pelo revendedor e sofisticação.

A introdução da electrónica e a constituição de sistemas de informação ao operador afirma-se como a resposta dos construtores às crescentes exigências dos utilizadores, revolucionando por completo, quer as condições de trabalho, quer a própria utilização dos equipamentos. Os sistemas de informação vêm fornecer uma importante ajuda à tomada de decisão do operador do tractor, para além de representarem um valioso instrumento de análise do desempenho deste equipamento em condições de campo.

Pode afirmar-se que o consumo de combustível por unidade de área trabalhada, juntamente com a área trabalhada por unidade de tempo, representam os indicadores directos do funcionamento do conjunto tractor-alfaia. Estes podem ser utilizados, por exemplo:

- para comparar diferentes formas de condução do tractor;
- na escolha da dimensão da alfaia adequada ao tractor;
- na aquisição de dados para custear empreitadas, o que é especialmente útil para os prestadores de serviços.

2.REVISÃO DO ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS

A eficiência de funcionamento do motor pode ser apreciada tendo por base as curvas de desempenho, obtidas em ensaios à tomada de força, as quais relacionam a potência e o consumo específico do motor com o regime de funcionamento e com a carga a que o mesmo está sujeito.

A avaliação de curvas de desempenho de tractores agrícolas, obtidas em ensaios realizados por organismos oficiais, mostra que a maior eficiência da utilização do gasóleo pode ser obtida com um grau de utilização da potência máxima de cerca de 70 a 80%, quando é seleccionado um regime do motor de cerca de 70 a 80% do regime nominal. Tomando por base esta informação, é possível obter importantes economias de combustível aplicando a técnica conhecida na literatura de língua inglesa por "Gear Up and Throttle Down" e designada daqui para diante por "GUTD". A condução assente na técnica de "GUTD", de conservação de energia, mantém a velocidade desejada à custa de seleccionar uma mudança mais alta e de reduzir o regime do motor, sem o sobrecarregar, para 70 a 80% do regime nominal.

Os testes realizados na Universidade de Nebraska permitem quantificar economias no consumo de combustível até 30% pela aplicação da técnica de "GUTD" [1]. O grau de concretização deste objectivo depende do esforço exigido pela alfaia e da adequação desta ao tractor [2].

A mesma técnica de condução em operação com grade de discos "offset" permitiu evidenciar benefícios no consumo de combustível de cerca de 15% [3].

Ensaio com 8 alfaias diferentes, incluindo a grade de discos "tandem", em dois solos (argiloso e franco-arenoso), mostrou que a técnica de "GUTD" pode conduzir a economias de combustível de 20 a 30% [2].

Testes realizados com 16 tractores, para determinar e demonstrar as economias de combustível que podem ser obtidas na condução de um tractor pela técnica de "GUTD", revelaram variações consideráveis como resultado das diferenças entre tractores e entre condições de solo, tendo em média sido encontradas reduções no consumo de combustível de 1% por cada 1 a 1,5% de descida do regime em percentagem do regime nominal [4]. Estes ganhos foram obtidos sem perda da capacidade de trabalho, uma vez que se garantiu a mesma velocidade de avanço.

Esta técnica de escolher regimes baixos e mudanças altas tem, portanto, algumas limitações:

1ª- Só pode ser adoptada nas situações em que a alfaia não exija mais do que 75 a 80% da potência nominal do tractor. Os dados recolhidos indicam que a grande maioria dos equipamentos usados nas explorações agrícolas estão subdimensionados para a potência disponível, o que justifica a utilização da técnica de "GUTD" [5]. Em média, os agricultores não utilizam mais do que 60% da potência disponível nos tractores, sendo por isso aceitável o método de "GUTD" [6];

2ª- Ao situar o funcionamento do motor mais perto do momento máximo, existe menor reserva de momento, menor margem de segurança para fazer face a solicitações mais exigentes, nomeadamente em subidas ou em zonas de maior resistência do solo;

3ª- A combustão do gasóleo nestas circunstâncias, de baixo regime e cargas elevadas, pode criar situações de sobrecarga do motor, aproximando o seu funcionamento do "limite de fumo", com implicações ambientais que gradualmente começam a assumir importância através de legislação de controlo, exigindo estudos apropriados.

3.OBJECTIVO

Pretende-se com este artigo realçar as vantagens, em termos de capacidade de trabalho e de consumo de combustível por hectare, inerentes à correcta utilização do tractor em trabalhos de tracção, nomeadamente na regulação do par regime-relação de transmissão da caixa de velocidades.

4.MATERIAL E MÉTODOS

4.1.MATERIAL

O tractor utilizado, Massey-Ferguson modelo 3060, de 59 kW de potência máxima obtida ao regime de 2200 r.p.m., apresenta uma caixa de velocidades com 32 opções em ambos os sentidos do deslocamento, correspondentes a quatro velocidades (1 a 4), duas gamas (altas e baixas), uma caixa redutora com duas opções (tartaruga e lebre) e uma caixa "power shift" (que permite alteração da mudança em carga) também com duas opções ("speed shift", ligado/desligado).

Este tractor está equipado com um sistema de informação "Datatronic" (figura 1). De entre as funções que se encontram disponíveis, destacam-se, pela relevância da sua aplicação:

- a velocidade real de avanço e a distância percorrida (obtidas a partir de um radar);
- o regime do motor e da tomada de força (obtidos a partir de sensores magnéticos de proximidade);
- a patinagem das rodas motoras (calculada com base na velocidade real de avanço e na velocidade teórica de avanço, medida esta por um sensor magnético de proximidade colocado na transmissão às rodas traseiras);
- o consumo horário de combustível (obtido a partir de um medidor de caudal colocado no sistema de alimentação de gasóleo);
- a área trabalhada por unidade de tempo (calculada a partir da velocidade real e da largura de trabalho);
- o consumo de combustível por unidade de área trabalhada (calculado a partir do consumo horário de combustível e da área realizada por unidade de tempo).



Figura 1 : Consola do sistema de informação "Datatronic" da Massey-Ferguson

No entanto, este sistema de informação comercial apresenta duas limitações para efeitos de desenvolvimento de trabalhos de investigação: por um lado, não permite o registo dos dados; por outro, não inclui a possibilidade de medição de um parâmetro fundamental na avaliação da dinâmica tractor-alfaia, a tracção na barra. Para contornar estas limitações foram efectuados dois desenvolvimentos:

- procedeu-se ao aproveitamento dos sinais dos sensores do sistema "Datatronic", derivando-os, através da instalação de uma tomada em "T", para uma caixa de terminais (com 8 canais) e de condicionamento de sinal e, desta, através de uma interface (placa de aquisição de dados), para um computador portátil instalado no tractor (figura 2);

- foi instalada uma célula de carga, interposta na ligação tractor-alfaia, para medição da tracção na barra (figura 2).

O computador portátil "IBM Compaq Armada 1520", a placa de aquisição de dados do tipo "PCMCIA", modelo "DAQCard-1200" da "National Instruments", a tomada de derivação de sinais do sistema "Datatronic", a célula de carga "UBM U2A", de 50 kN de carga máxima e todos os cabos de ligação que constituem o sistema de aquisição de dados instalado a bordo do tractor durante os ensaios, são equipamentos comerciais disponíveis no mercado.

A equipa do Laboratório de Medidas Eléctricas do INETI desenvolveu e instalou no computador portátil uma aplicação "Labview" (figura 3) como programa para controlo do processo de aquisição, tratamento e armazenamento de dados, durante os trajectos de ensaio.

Foram utilizadas como alfaias duas grades de discos "offset" rebocadas, com 24" de diâmetro dos discos e, respectivamente, com 20 (G1) e 24 (G3) discos. A grade de discos (figura 4) é uma das principais alfaias de mobilização do solo utilizadas no Alentejo para instalação de culturas de sequeiro.



Figura 2 : À esquerda, em cima, condicionador de sinal e computador portátil; à esquerda, em baixo, placa de aquisição de dados; à direita, célula de carga instalada entre a "barra de puxo" do tractor e a lança da alfaia rebocada

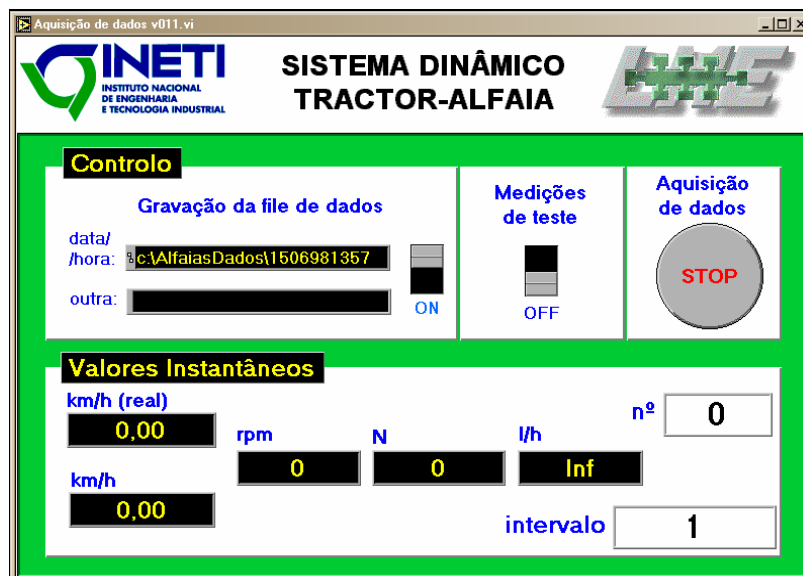


Figura 3 : Aplicação "Labview" para controlo do processo de aquisição, tratamento e armazenamento de dados

4.2.METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em condições habituais de tracção no Alentejo, com a utilização de grades de discos "offset" em mobilização primária do solo.

Foram testadas três combinações regime-mudança:

M1-correspondente à selecção de um regime do motor de cerca de 80% do regime nominal e à escolha, por tentativas, da mudança mais alta permitida;

M2-consistiu em seleccionar o regime nominal do motor e duas mudanças abaixo da mais alta que as condições de trabalho permitiriam. Este tratamento pretendeu representar uma situação muito habitual junto dos nossos operadores de tractores agrícolas;

M3-selecção do regime nominal do motor e escolha, por tentativas, da mudança mais alta permitida.

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.



Figura 4 : À esquerda, conjunto tractor-grade de discos "offset"; à direita, pormenor da grade de discos "offset" em posição de trabalho

A passagem do tratamento **M2** para o tratamento **M1** corresponde à selecção de mudanças mais altas e regimes mais baixos, ou seja, a aplicação da técnica de "gear-up and throttle-down" (**GUTD**). Desta forma procuram-se quantificar os ganhos, em termos de combustível consumido, resultantes da correcta gestão do par regime-mudança.

Do tratamento **M2** para o tratamento **M3** procuram-se avaliar os efeitos sobre a capacidade de trabalho resultantes da opção de funcionamento do motor perto do limiar de potência disponível.

Os ensaios decorreram em duas explorações agrícolas do concelho de Évora (Fitojardim e Louseiro), em solo de textura média, tendo sido realizados 8 ensaios em cada local, consistindo, cada ensaio e para cada tratamento, de 4 repetições de trajectos com 80 m de comprimento.

5.RESULTADOS

Na tabela 1 apresentam-se as médias dos parâmetros medidos num ensaio realizado em cada local. Estes dois ensaios exemplificam com dados concretos a tendência verificada no conjunto dos dezasseis ensaios.

Ensaio	Trat.	Grade Abertura (graus)	ℓ (m)	d (m)	n vazio (rpm)	Mud.	n carga (rpm)	vr (km/h)	i (%)	Ct (ha/h)	T (kN)	Ch (L/h)	Cha (L/ha)
Fitojardim	M1	G3(41)	2,51	0,17	1750	3BTD	1650	5,81	7	1,46	17,83	11,95	8,19
	M2	G3(41)	2,51	0,17	2200	1BTD	2159	5,42	6	1,36	16,14	12,47	9,16
	M3	G3(41)	2,51	0,17	2200	2BTD	2141	6,45	5	1,62	17,18	15,14	9,36
Louseiro	M1	G1(37)	2,09	0,16	1750	4BTD	1646	6,86	8	1,43	14,04	12,86	8,96
	M2	G1(37)	2,09	0,16	2200	2BTD	2154	6,53	3	1,36	14,02	13,36	9,79
	M3	G1(37)	2,09	0,16	2200	4BTD	2023	8,38	7	1,75	15,28	17,88	10,21

Onde: Trat.-Tratamento; ℓ -é a largura de trabalho; d -é a profundidade de trabalho; n-é o regime do motor; Mud.-é a mudança seleccionada na caixa de velocidades; vr-é a velocidade real de avanço; i-é a patinagem das rodas do tractor; Ct -é a capacidade de trabalho; T-é a tracção na barra; Ch-é o consumo horário de combustível; Cha- é o consumo de combustível por hectare.

Tabela 1 : Resultados médios de 2 ensaios exemplificativos do conjunto de 16 ensaios realizados [7]

A tabela 2 representa um resumo dos resultados dos 16 ensaios realizados para avaliação do efeito da regulação do par regime-mudança.

Regulação	Parâmetros de avaliação	
	Capacidade de trabalho (ha/h)	Consumo por hectare (L/ha)
M1	+4,5 %	-11,7 %
M3	+19,2 %	+2,6 %

Tabela 2 : Resumo dos resultados obtidos nos 16 ensaios realizados: variação percentual média dos parâmetros capacidade de trabalho e consumo por hectare nas regulações **M1** e **M3**, relativamente à situação **M2**

6.DISSCUSSÃO DOS RESULTADOS

Efeito da regulação do par regime-mudança sobre a capacidade de trabalho

A análise estatística dos resultados dos ensaios realizados para este efeito revelou, para a variável capacidade de trabalho (**Ct**): diferenças não significativas entre os tratamentos **M1** e **M2**; diferenças significativas com um nível de confiança de 99% entre os tratamentos **M2** e **M3**. O efeito das variáveis em questão sobre a **Ct** reflecte a variação ao nível da velocidade de avanço, a qual, por sua vez, traduz a conjugação da mudança seleccionada, do regime em carga e da patinagem.

Entre os tratamentos **M1** e **M2** não se esperavam diferenças significativas uma vez que procurou conjugar o par regime-mudança que conduzisse a uma velocidade de avanço semelhante.

Em qualquer dos tratamentos **M2** e **M3** foi imposto um regime próximo do regime nominal do motor. Atendendo a que no tratamento **M3** foi seleccionada a mudança mais alta permitida enquanto no tratamento **M2** foi seleccionada uma mudança mais baixa, a velocidade de trabalho e, conseqüentemente, a capacidade de trabalho reflectiu um acréscimo em **M3**, fundamentalmente, resultante do salto proporcionado pela mudança. Em média, no conjunto dos 16 ensaios realizados, este acréscimo foi de cerca de 19%.

Efeito da regulação do par regime-mudança sobre o consumo por hectare

A análise estatística dos resultados dos ensaios realizados para este efeito e para a variável consumo por hectare revelou diferenças significativas com um nível de confiança de 99% entre os tratamentos **M1** e **M2** e diferenças não significativas entre os tratamentos **M2** e **M3**. Verificou-se um decréscimo sistemático do consumo por hectare (**Ch**) ao passar do tratamento **M2** para o tratamento **M1**, atingindo um valor médio, no conjunto dos 16 ensaios realizados, de cerca de 12%.

O efeito verificado sobre o consumo por hectare reflecte, de forma inversa, as variações ocorridas no rendimento global da transformação de energia por efeito da regulação do regime e da mudança. As variações ocorridas no rendimento global podem ser estimadas a partir do quociente ($T.vr / Ch$), ou seja, o quociente entre a potência na barra (**T.vr**) e a energia, sob a forma de combustível, fornecida por unidade de tempo ao motor (**Ch**). O acréscimo sistemático do rendimento global ao passar do tratamento **M2** para o tratamento **M1** traduziu-se, na média dos 16 ensaios realizados, num aumento de cerca de 15% .

O aumento do rendimento global apoia-se no facto de no tratamento **M1** se colocar o motor num ponto de funcionamento mais eficiente. A observação das curvas de desempenho do tractor de ensaio (figura 5) mostra que as situações mais económicas, traduzidas num consumo específico mínimo, resultam da combinação de regimes da ordem dos 60 a 80% do regime nominal e de grau de utilização da potência máxima entre 50 e 80%. O consumo específico nessas circunstâncias, nas quais se enquadra a situação de ensaio **M1**, corresponde a cerca de 260 a 270g/kWh, ou seja, uma redução de 10 a 13% relativamente ao consumo específico esperado nas situações de ensaio **M2** e **M3** (da ordem dos 300 g/kWh).

7.CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios realizados comprovam a importância da correcta gestão do par mudança-regime, tendo evidenciado que a técnica de escolher mudanças mais altas e regimes mais baixos (tratamento **M1**) pode conduzir a economias de combustível de 10 a 15%, relativamente à utilização comum de regimes perto do regime nominal do motor e da selecção de mudanças baixas (tratamento **M2**).

Ao agricultor cabe a decisão sobre uma das seguintes opções:

- otimizar o consumo por hectare (tratamento **M1**), conduzindo o tractor na base de um compromisso entre ter suficiente reserva de momento e obter um funcionamento económico do motor, em termos de consumo de combustível;
- ou otimizar a capacidade de trabalho (tratamento **M3**), com base em regimes de funcionamento do motor próximo do regime nominal, se a sua limitação for imposta pela disponibilidade de tempo para realização das operações culturais na altura adequada com os meios de que dispõe; é neste caso clara a vantagem de menores custos de oportunidade (operador e tractor mais cedo disponíveis para outros trabalhos), traduzidos em acréscimos na capacidade de trabalho, em média, da ordem dos 19% na situação **M3**, relativamente à regulação típica utilizada pelo agricultor (**M2**).

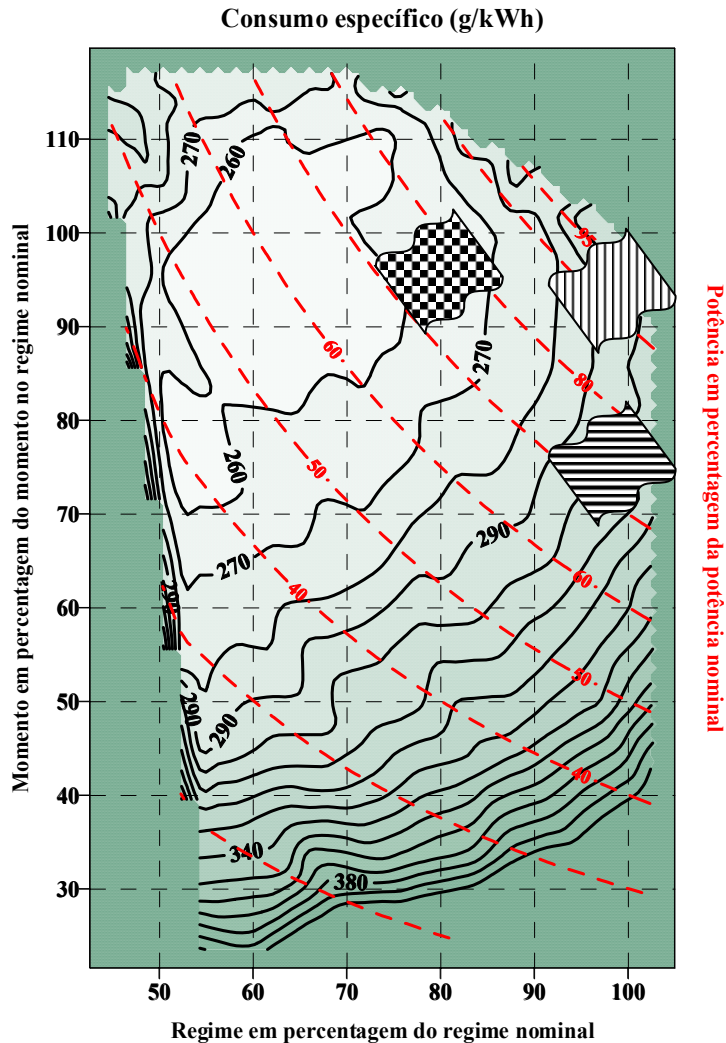


Figura 5 : Curvas de desempenho do tractor Massey-Ferguson 3060: zonas de funcionamento do motor nos tratamentos **M1** (traço em xadrez), **M2** (em traço horizontal) e **M3** (em traço vertical)

Estes resultados justificam o importante papel da extensão rural. Pouco ou nada adianta o facto dos grandes centros de investigação desenvolverem esforços para melhorarem em 4 ou 5% o desempenho dos motores, se o agricultor desperdiça, só na simples regulação do par regime-mudança, 10 a 20% do combustível. Daqui também se compreende a tendência para os fabricantes de tractores incluírem nos sistemas de ajuda à condução do tractor funções automáticas, de gestão, reduzindo a responsabilidade que assenta sobre o operador.

REFERÊNCIAS

[1]-Grisso, R., Shelton, D. P., Bargaen, K., "Gear Up and Throttle Down-Saving Fuel", University of Nebraska Tractor Test Laboratory, 1996.

- [2]-Smith, Lowrey, A., "Energy requirements for selected crop production implements", *Soil & Tillage Research*, 25, p. 281-299, 1993.
- [3]-Green, M. K., Stout, B. A., Searcy, S. W., "Instrumentation package for Monitoring Tractor Performance", *Transactions of the ASAE*, Vol. 28(2), p. 346-349, 355, 1985.
- [4]-Pang, S. N., Zoerb, G. C., Wang, G., "Tractor Monitor Based on Indirect Fuel Measurement", *Transactions of the ASAE*, Vol. 28 (4), p. 994-998, 1985.
- [5]-Rotz, C., A., Muhtar, H. A., Black, J. R., "Real-Time Optimization of Tractive Efficiency", *Transactions of the ASAE*; Vol. 26(6), p. 1644-1649, 1983.
- [6]-Morera, L. S., "Caracterización energética de las operaciones mecanizadas bajo distintos sistemas de manejo del suelo y residuos", Tese de Doutoramento, *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidade de Córdoba, Espanha*, 1993.
- [7]-Serrano, João M. P. R., "Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo", Tese de Doutoramento, *Évora, Serviço de Reprografia e Publicações da Universidade de Évora*, p. 96-97, Julho, 2002.