

# INSTRUMENTAÇÃO DE TRACTORES AGRÍCOLAS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS EM ENSAIOS DE CAMPO DE TRACÇÃO

JOÃO M.P.R. SERRANO

JOSÉ O. PEÇA

A. C. PINHEIRO

MÁRIO DE CARVALHO

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

MÁRIO NUNES

LUÍS RIBEIRO

INETI, Laboratório  
de Medidas Eléctricas

FERNANDO SANTOS

UTAD, Departamento  
de Fitotecnia e  
de Engenharia Rural

**Resumo:** A utilização racional de tractores agrícolas exige o conhecimento das variáveis envolvidas nesta complexa dinâmica. É natural, por isso, que se conheçam estudos de investigação nesta área desde há várias décadas. Este artigo faz uma breve retrospectiva da evolução dos sistemas de aquisição de dados em tractores agrícolas e apresenta um sistema desenvolvido para medição dos parâmetros físicos pertinentes em ensaios de campo de tracção.



Fig. 1 - Ensaio de campo com instrumentação para medição de esforços de tracção em grades de discos "offset" rebocadas

## 1. Evolução da instrumentação em tractores agrícolas

Os equipamentos de medição do rendimento do tractor em condições de campo existem desde o início do século XX<sup>[1]</sup>. Kushwaha e Linke<sup>[2]</sup> citam os trabalhos de Davidson e Chase (1908) como sendo dos primeiros a descreverem equipamento para medir a tracção e a velocidade de trabalho.

As primeiras estruturas adaptadas no tractor agrícola para este efeito, anteriores a 1950, eram mecânicas, logo pesadas, difíceis de manobrar e até de instalar. Surgiram, a partir de então, os equipamentos eléctricos e, mais recentemente, os equipamentos electrónicos, revolucionando por completo a instrumentação de tractores e o desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados<sup>[3]</sup>.

Depois de 1960, o progresso no sector da Metrologia Aplicada, ligada ao desenvolvimento de sensores e da própria informática, com a miniaturização dos sensores e dos componentes electrónicos, tornou possível a aplicação de transdutores no tractor sem necessidade de introduzir modificações geométrico-mecânicas na estrutura do mesmo<sup>[4]</sup>. O desenvolvimento ocorrido a partir dessa altura na tecnologia dos semi-condutores, levou à difusão dos modernos sistemas electrónicos e permitiu realizar circuitos caracterizados pelas suas pequenas dimensões, extremamente resistentes às solicitações externas, com possibilidade de operar a baixíssimas tensões e com pequenas exigências de potência. Estes têm proporcionado uma

profunda evolução na informática e na automatização, possibilitando, à custa de sistemas compactos e versáteis, armazenar grande quantidade de informação e elaborá-la com rapidez.

As primeiras aplicações electrónicas em tractores agrícolas surgiram no século passado, já no final dos anos setenta, com o lançamento dos primeiros sistemas de levantamento hidráulico com comando electrónico<sup>[5]</sup>. Na mesma altura, foram introduzidos os primeiros microprocessadores no sector industrial, nomeadamente nas indústrias automóvel e aeronáutica<sup>[6]</sup>. Daí até ao aparecimento de sistemas electrónicos comerciais, de informação, em tractores agrícolas decorreram cerca de dez anos. Este atraso deveu-se, não só à baixa intensidade de investimento de capital próprio na agricultura, como ainda, à objectiva dificuldade das operações agrícolas, que, para além de apresentarem baixa repetitividade, se produzem em condições ambientais difíceis, com temperaturas extremas, poeiras, chuva, vibrações e choques mecânicos que podem conduzir ao insucesso de dispositivos sofisticados<sup>[7,8]</sup>.

A evolução dos materiais e dos métodos de produção, o acréscimo das potências e das velocidades de trabalho, o lançamento de alfaia combinadas, as exigências de trabalhos de maior precisão e de regulações mais complexas e a necessidade de proporcionar aos operadores condições de trabalho mais atractivas, em particular ao nível da segurança e do conforto, pressionaram os construtores a criarem sistemas de ajuda à condução<sup>[9]</sup>.

Os primeiros sistemas de ajuda à condução, capazes de transmitir numerosas informações necessárias à tomada de decisão, eram caracterizados por apenas facultarem informação "volátil".

Os microprocessadores, a conversão de sinais analógicos em sinais digitais e o armazenamento dos mesmos marcou decisivamente a evolução dos sistemas de informação em tractores<sup>[8]</sup>. À entrada para este novo século, aliado à difusão do conceito de agricultura de precisão, surge uma segunda geração de sistemas de informação, caracterizados pela gestão automática de muitas funções, retirando ao operador parte da responsabilidade que lhe era pedida até então. Ao mesmo tempo que no sector industrial surgiam estas inovações tecnológicas, apresentadas por praticamente todos os principais fabricantes de tractores agrícolas<sup>[9]</sup>, diversas equipas de investigação desenvolviam os seus próprios sistemas de aquisição de dados do tractor. Pang *et al.*<sup>[10]</sup> registaram mais de vinte referências a tentativas de concepção de sistemas de medição do desempenho do tractor, das quais quinze datadas de 1981, o que demonstra a grande expansão verificada nessa década em termos de instrumentação de tractores agrícolas.

Neste artigo é dada particular atenção à instrumentação de tractores agrícolas para efeitos de investigação (Sistema de Aquisição de Dados, SAD) e não aos sistemas de informação comerciais, já abordados em publicações anteriores<sup>[9,11,12]</sup>.

## 2. Requisitos necessários à medição dos parâmetros físicos pertinentes em tratores agrícolas

As possibilidades de um sistema de medição de parâmetros físicos do desempenho de tratores agrícolas depende fundamentalmente do tipo de sensores que o constituem. Os sistemas mais habituais, de concepção relativamente simples, normalmente de custo reduzido e desenvolvidos por forma a permitirem uma fácil adaptação a qualquer tractor em condições de trabalho muito diversas, têm como sensores: um radar, uma célula de carga, um medidor de caudal e sensores magnéticos de proximidade. Alguns exemplos destes modelos são apresentados por: Smith e Fornstrom<sup>[13]</sup>, Bedri *et al.*<sup>[14]</sup>, Grevis-James e Bloome<sup>[15]</sup>, Chung *et al.*<sup>[16]</sup>, Grevis-James *et al.*<sup>[13]</sup>, Riethmuller e Jarvis<sup>[17]</sup>, Bowers<sup>[18]</sup>.

Os estudos que se desenvolvem por forma a caracterizar o desempenho dos tratores agrícolas em trabalhos de mobilização do solo apoiam-se na medição de um conjunto de parâmetros físicos, de entre os quais se salientam: a tracção na barra ( $T$ , em kN); a tracção na barra por metro de largura de trabalho da alfaia ( $\mathcal{S}$ , em kN/m) ou por secção de solo mobilizado ( $Re$ , em kN/m<sup>2</sup>); a velocidade de trabalho ( $v_r$ , em km/h); a capacidade de trabalho ( $Ct$ , em ha/h); a potência na barra ( $Pb$ , em kW); o consumo horário ( $Ch$ , em L/h); o consumo de combustível por hectare ( $Ch_a$ , em L/ha); a potência do motor ( $Ne$ , em kW); a patinagem das rodas motoras ( $i$ , em %); o regime ( $n$ , em r.p.m.) e o momento ( $M$ , em N.m) no veio de saída do motor, no veio da tomada de força e nos semi-eixos das rodas; o rendimento mecânico da transmissão entre o motor e as rodas e entre o motor e a tomada de força ( $\eta_m$ , adimensional); o rendimento de tracção ( $\eta_t$ , adimensional); e o consumo específico do motor ( $Ce$ , em g/kWh).

Para a medição dos parâmetros físicos referidos exigem-se sensores adequados, os quais são apresentados na figura 2. Em função dos sensores que os constituem e, por isso, das possibilidades que permitem, os sistemas de aquisição de dados (SAD) para efeitos de avaliação do desempenho do conjunto tractor-alfaia em mobilização do solo, podem agrupar-se em 4 tipos (figura 3):

### A - Sistemas para avaliação de parâmetros referentes à alfaia

Estes são sistemas em que, para além de um radar, apresentam um conjunto de sensores que dependem do tipo de alfaia: uma célula de carga extensométrica simples ligada à barra de puxo para alfaia rebocadas; uma estrutura dinamométrica complexa que inclui células de carga e inclinómetros, para alfaia montadas nos 3 pontos do sistema hidráulico do tractor; um sensor magnético de proximidade e um freio dinamométrico na transmissão

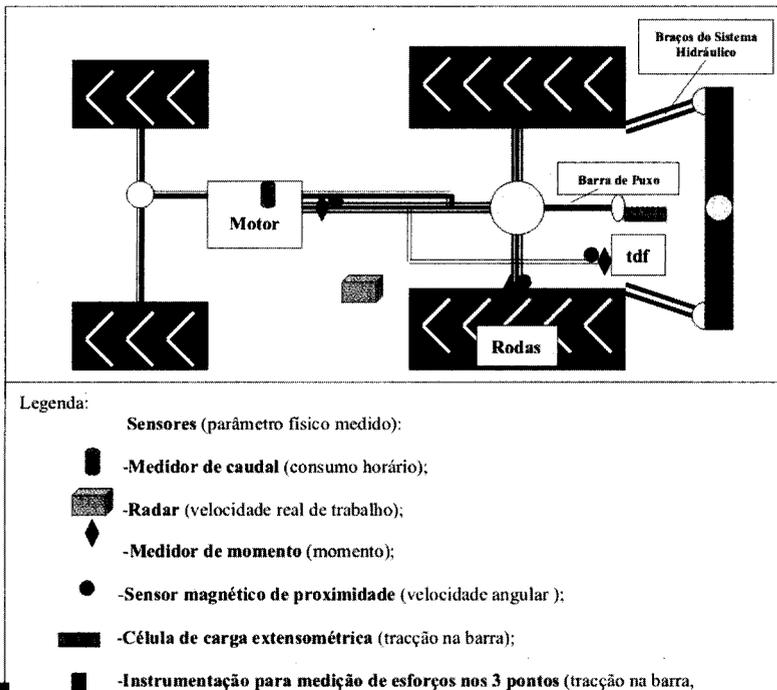


Fig. 2 - Sensores necessários à instrumentação de um tractor agrícola para efeitos de aquisição de dados relevantes no desempenho do conjunto tractor-alfaia em mobilização do solo

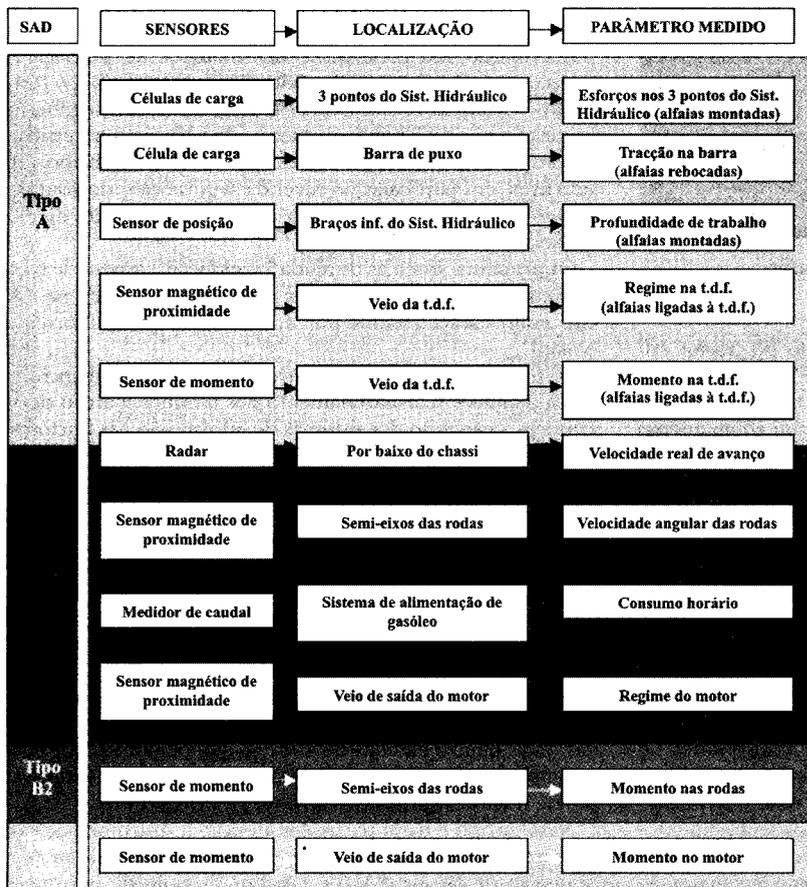
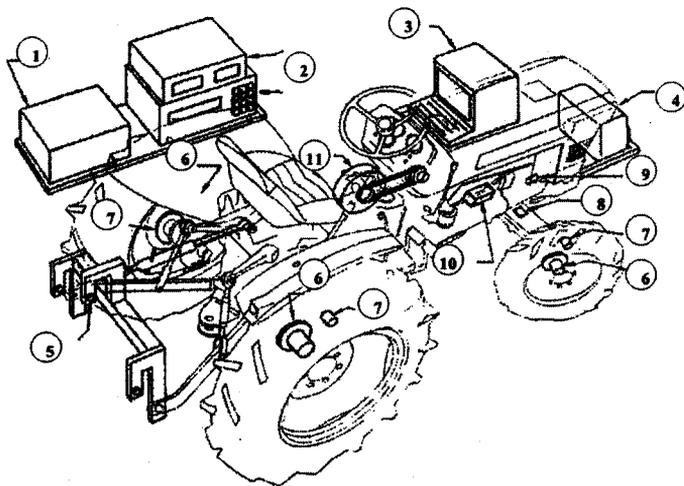


Fig. 3 - Diagrama representativo dos tipos de sistemas de aquisição de dados em tratores agrícolas



1 - Condicionador de sinal 2 - Computador (com unidade de disquetes) 3 - Terminal (Visor) do computador 4 - Bateria 5 - Dinamômetro montado nos 3 pontos 6 - Medidores de momento nas rodas 7 - Medidores de velocidade das rodas 8 - Medidores de peso nos semi-eixos 9 - Medidor do regime do motor 10 - Medidor de consumo de combustível 11 - Medidor da velocidade real de avanço

Fig. 4 - Sistema de aquisição de dados proposto por Clark e Adsit<sup>[22]</sup>

para a tomada da força, respectivamente, para medição da velocidade angular e do momento, em alfaías accionadas pela tomada de força. Nalguns casos de alfaías montadas nos 3 pontos do sistema hidráulico, os sistemas de aquisição de dados contemplam ainda um sensor ao nível dos braços inferiores do sistema hidráulico para medição da profundidade de trabalho. Refira-se que o sistema complexo de medição do esforço solicitado por alfaías montadas tem exemplos que datam dos anos sessenta do século passado, como são os apresentados por Reece<sup>[19]</sup> e por Bigsby e Barnes<sup>[20]</sup>.

Os sistemas enquadrados neste tipo A permitem abordar as questões com maior interesse em alfaías de mobilização do solo, ou seja, a medição das solicitações de tracção, as exigências de potência na barra e a resistência específica do solo.

#### B - Sistemas para avaliação de parâmetros referentes ao tractor

Dentro destes podem encontrar-se diferentes níveis de capacidade de resposta:

##### B1-Sistemas com medidor de consumo de combustível

Os sistemas equipados com medidor de consumo de combustível do tractor e que permitam em simultâneo a aquisição de dados referentes à alfaía, facultam a abordagem das variáveis do desempenho do conjunto tractor-alfaía, possibilitando a estimativa do rendimento global da transformação energética envolvida. Este é o modelo mais utilizado pelas equipas de investigação como sistema de aquisição de dados de campo.

##### B2 - Sistemas com medidores de momento e de velocidade angular nas rodas

Os sistemas assim equipados permitem a medição do rendimento de tracção, sendo por isso apropriados para estudos das características de tracção, nomeadamente, em ensaios de pneus, com diferentes cargas e pressões de enchimento e em diferentes solos.

##### B3 - Sistemas com medidor de momento e de velocidade angular no motor

Com estes sistemas é possível a medição da potência desenvolvida no motor, a qual, conjugada com o consumo horário permite a obtenção do consumo específico e, indirectamente, a estimativa do rendimento do motor. Um sistema que simultaneamente inclua os sensores referidos nestas 3 categorias (B1, B2 e B3) permite estimar as diferentes fracções do rendimento global da transformação de energia fornecida ao motor em energia útil para traccionar alfaías: o rendimento do motor, o rendimento mecânico da transmissão entre o motor e as rodas e o rendimento de tracção dos pneus em interacção com o solo.

A revisão dos trabalhos publicados nos últimos 20 anos nesta área comprova que não existe uma tendência para instalação

num tractor de todos os sensores apresentados na figura 3, pelo que as tentativas de modelação do desempenho ou de dimensionamento do conjunto tractor-alfaía assentam, necessariamente, em aproximações a partir de valores publicados, resultantes de ensaios específicos, realizados por equipas dotadas dos equipamentos adequados. Por exemplo:

- o estabelecimento de curvas de desempenho do motor e a obtenção de valores de consumo específico (g/kWh) em ensaios à tomada de força, realizados por centros certificados (DLG, Cemagref,...);
- a avaliação das características de tracção de pneus em ensaios realizados em condições controladas (roda de teste do NIAE, por exemplo), levando ao desenvolvimento de modelos matemáticos adaptados à interacção entre o solo e os pneus, inserindo-se claramente na perspectiva da "Terramecânica";

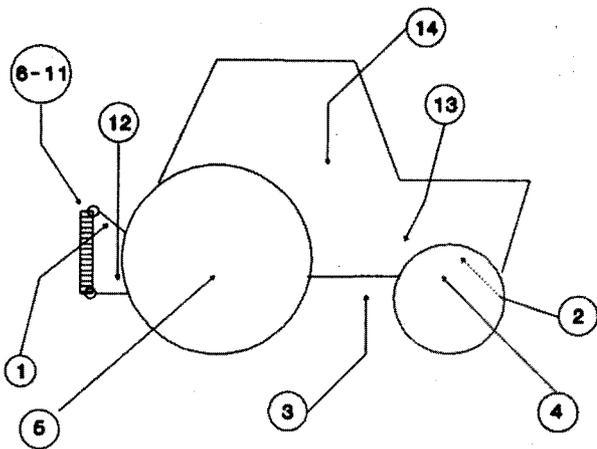
- a obtenção de dados em bancos de ensaios de alfaías agrícolas, relevantes na sua concepção e regulação.

### 3. Arquitectura de um Sistema de Aquisição de Dados

A estrutura de um sistema de aquisição de dados (SAD) inclui, para além dos sensores, uma unidade de tratamento e condicionamento de sinal (conversão de sinais analógicos em sinais digitais), ligada por uma interface (placa de aquisição de dados) a um sistema de armazenamento e tratamento dos dados (computador).

Apesar do princípio ser de aplicação geral, tecnologicamente é possível ser concretizado de formas diversas. Segue-se a apresentação de duas das estruturas mais comuns encontradas nos trabalhos publicados nos últimos anos:

- a) Sistemas constituídos por um condicionador de sinal e um sistema de armazenamento de dados, normalmente um microprocessador, apresentando-se toda a estrutura montada no tractor. O principal inconveniente deste sistema reside no facto de submeter o microprocessador a condições de funcionamento extremas sobre o tractor. A possibilidade de acompanhar a visualização dos registos em tempo real exige a presença de um operador ao lado do banco do condutor, em condições também de reduzido conforto. Exemplos deste modelo foram apresentados por: Chung *et al.*<sup>[16]</sup>, Marshall *et al.*<sup>[21]</sup>, Clark e Adsit<sup>[22]</sup>, Bowers<sup>[18]</sup>, Watts e Longstaff<sup>[23]</sup>, Ragni e Santoro<sup>[4]</sup>. A figura 4 ilustra o sistema desenvolvido por Clark e Adsit<sup>[22]</sup>.
- b) Sistemas constituídos por um "datalogger", que condiciona e regista os dados, podendo fazer-se a observação destes à posteriori ou em tempo real. Neste último caso é permitida a detecção de eventuais anomalias, no entanto, exige um sistema de transferência, por exemplo, por telemetria, para um microprocessador, de onde se controla o registo dos dados. São muito frequentes os exemplos deste segundo modelo, nomeadamente: Smith e Barker<sup>[24]</sup>, Grevis-James *et al.*<sup>[1]</sup>, Green *et al.*<sup>[25]</sup>, Summers *et al.*<sup>[26]</sup>, Ribes<sup>[27]</sup>, McLaughlin *et al.*<sup>[8]</sup>, Moreira<sup>[28]</sup>, Smith<sup>[29]</sup>, Al-Suhaibani *et al.*<sup>[30]</sup>, Glancey e Upadhyaya<sup>[31]</sup>, Kushwaha e Linke<sup>[2]</sup>, Perfect *et al.*<sup>[32]</sup>, Al-Janobi<sup>[33]</sup>. Todavia, o custo mais elevado relacionado com o sistema de transferência de dados, associado com as maiores exigências em termos de meios humanos podem representar importantes desvantagens relativamente aos sistemas anteriores. As figuras 5 e 6 ilustram a arquitectura do sistema desenvolvido na Universidade de Córdoba<sup>[28]</sup>. O sistema compreende dois módulos: um sobre o tractor e outro sobre uma carrinha de apoio. Sobre o tractor, para além dos sensores, foi colocado um siste-



1 - sensor para medição da altura dos braços inferiores do sistema hidráulico ao solo 2 - sensor para medição do regime do motor; 3 - radar 4 - sensor para medição da velocidade angular das rodas dianteiras 5 - sensor para medição da velocidade angular das rodas traseiras 6 a 11 - células de carga para medição das forças de ligação entre a alfaia e os 3 pontos do tractor 12 - sensor para medição do momento na tdf 13 - medidor de caudal 14 - cronómetro

Fig. 5 - Localização dos sensores no tractor instrumentado utilizado por Morera<sup>[28]</sup>

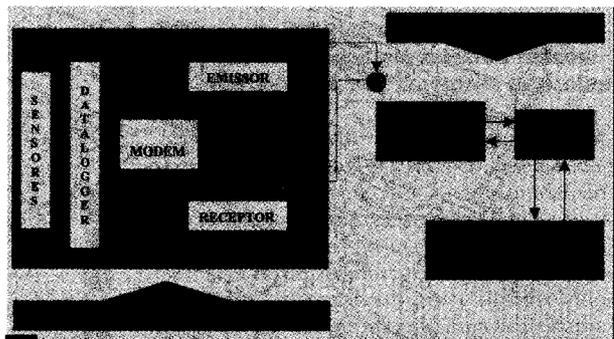


Fig. 6 - Representação esquemática do equipamento de aquisição e registo de dados no sistema apresentado por Morera<sup>[28]</sup>

podem distinguir-se dois modelos:

- sistemas perfeitamente autónomos e versáteis, construídos de raiz e adaptáveis a qualquer tractor agrícola. Um dos exemplos mais referidos na bibliografia é o do sistema comercial Dickey-John, constituído por uma consola e por um conjunto de sensores facilmente adaptáveis ao tractor, utilizado, por exemplo, pela equipa de investigação da Universidade Politécnica de Madrid;
- sistemas que aproveitam parte da instrumentação electrónica que equipa comercialmente alguns modelos de tractores agrícolas modernos (sistemas de informação ao operador), adaptando-se instrumentação complementar necessária para medição de outros parâmetros e para o registo e armazenamento de dados que habitualmente são "voláteis", ou seja, são apresentados ao operador mas não ficam registados. Esta segundo modelo exige, tal como o modelo anterior, a calibração dos sensores e apresenta a grande vantagem de aproveitar potencial existente, constituindo-se como uma estrutura simples e de custo relativamente baixo. Apresenta, no entanto, o inconveniente de não permitir a sua utilização noutras tractores agrícolas, circunscrevendo as condições de ensaio. Um sistema com esta configuração foi desenvolvido na Universidade de Évora no âmbito do projecto Pamaf 8.140 "Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo".

ma de condicionamento e transmissão de sinal (um "datalogger", para conversão analógico-digital, e um emissor). Sobre a carrinha encontrava-se o sistema de recepção de sinal (com alcance de 2 km) e o sistema de armazenamento e análise de dados (este constituído por um computador portátil).

Relativamente ainda à estrutura do sistema de aquisição de dados para efeitos de realização de trabalhos de investigação,

A análise cronológica das referências bibliográficas citadas neste artigo revela a publicação de trabalhos de instrumentação e acompanhamento de tractores agrícolas desde os anos sessenta e em contínuo até à actualidade, o que demonstra a importância da aquisição de dados na correcta gestão do conjunto tractor-alfaia, na comparação de itinerários alternativos de mobilização do solo ou na confirmação de relações teóricas entre variáveis para efeitos de modelação e de compreensão da complexa dinâmica envolvida: tractor-alfaia-solo.

#### 4. Um exemplo de aplicação

A solução adoptada no âmbito do projecto Pamaf 8.140 consistiu em aproveitar parte da infra-estrutura do sistema de informação comercial "Datatronic" que equipa o tractor Massey-Ferguson 3060<sup>[34]</sup>. Este é constituído por um conjunto de sensores (figura 7), ligados a uma unidade central de tratamento do sinal e de cálculo, que permite informar o operador sobre parâmetros relevantes do desempenho do tractor. Os sensores do sistema "Datatronic" são: um radar "Doppler", instalado por baixo do tractor; um sensor magnético de proximidade colocado junto ao volante do motor; um sensor magnético de proximidade colocado junto ao grupo cónico da transmissão às rodas traseiras; um medidor de caudal instalado no sistema de

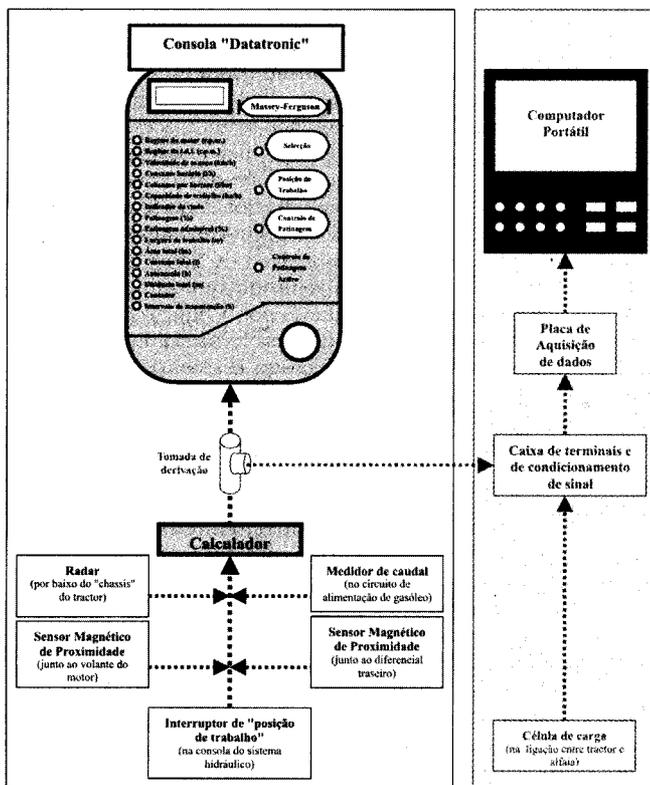


Fig. 7 - Diagrama ilustrativo do sistema de aquisição de dados instalado no tractor Massey-Ferguson 3060; a vermelho encontram-se as adaptações efectuadas no sistema "Datatronic"<sup>[34]</sup>



Fig. 8 - À esquerda: placa de aquisição de dados; à direita: condicionador de sinal e computador portátil

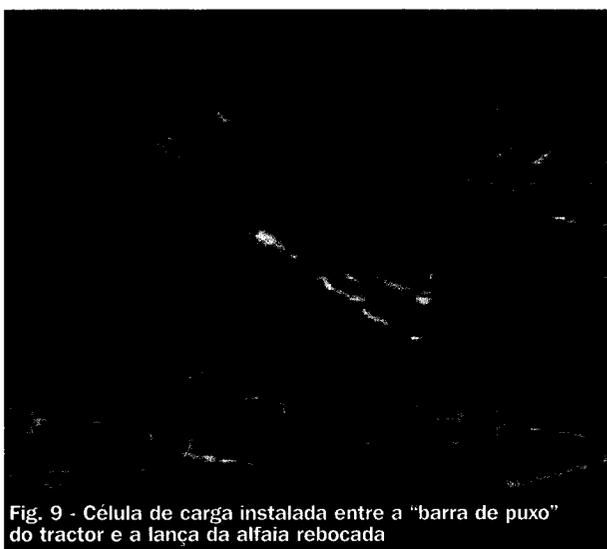


Fig. 9 - Célula de carga instalada entre a "barra de puxo" do tractor e a lança da alfaia rebocada

alimentação de gasóleo; e um sensor de posição colocado nos braços de elevação do sistema hidráulico.

Para ultrapassar a limitação resultante do facto da informação não ficar registada, foi desenvolvido por uma equipa do Laboratório de Medidas Eléctricas do INETI um sistema de aquisição de dados (SAD, figura 7). A instalação de uma to-

mada em "T" na ligação entre o computador e a consola do sistema de informação permitiu derivar os sinais dos sensores referidos para um circuito electrónico constituído por: uma caixa de terminais (com 8 canais) e de condicionamento de sinal, para converter sinais analógicos registados pelos sensores em sinais digitais; uma placa de aquisição de dados (figura 8), como interface para um computador portátil (figura 8).

Para além dos sensores referidos, foi instalada uma célula de carga, interposta na ligação tractor-alfaia (figura 9).

O computador portátil "IBM Compaq Armada 1520", a placa de aquisição de dados do tipo "PCMCLA", modelo "DAQ Card-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 autonomia do SAD durante a recolha de dados no campo é de cerca de 4 horas consecutivas, garantida por duas baterias interiores recarregáveis por ligação à corrente eléctrica. Foi ainda adaptado um cabo de ligação do sistema à bateria do tractor para permitir o registo dos dados em ensaios mais prolongados.

A equipa do Laboratório de Medidas Eléctricas do INETI desenvolveu e instalou no computador portátil uma aplicação "Labview" (figura 10) como programa para controlo do processo de aquisição, tratamento e armazenamento de dados, durante os trajectos de ensaio.

As informações do regime do motor (rpm), da velocidade teórica de avanço (km/h), da velocidade real (km/h), da tracção na barra (N) e do consumo horário (L/h) foram registadas em intervalos de 1 s, interrompendo-se o registo no final de cada trajecto operativo, pela actuação manual do interruptor de posição de trabalho da consola de comando do sistema hidráulico do tractor (D, figura 11). Os dados destas cinco funções, correspondentes a cada trajecto operativo realizado pelo conjunto tractor-grade de discos constituíram um ficheiro, identificado com um código data-hora, automaticamente definido no "software" do computador portátil.

Os resultados obtidos permitem a realização de ensaios de campo em diversas condições de trabalho, visando a constituição de bases de dados de tracção referente a condições típicas de trabalho no nosso país, podendo ser utilizada com os seguintes objectivos:

- as tomadas de decisão dos agricultores, nomeadamente, no dimensionamento do conjunto tractor-alfaia;

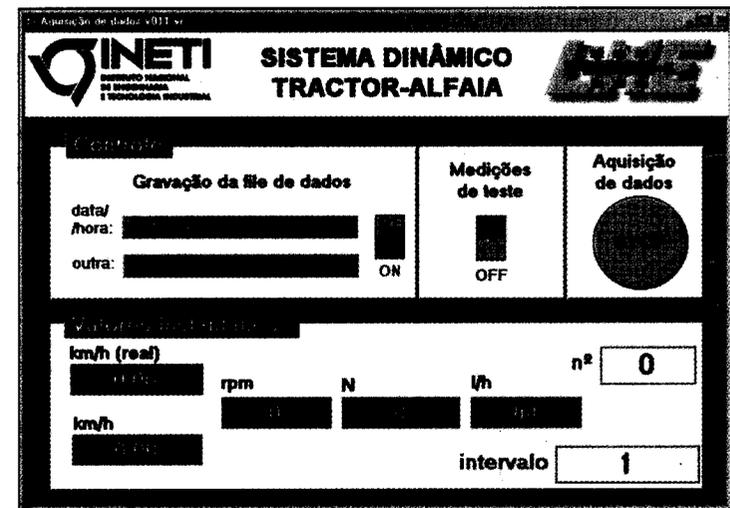


Fig. 10 - Aplicação "Labview" para controlo do processo de aquisição, tratamento e armazenamento de dados, durante os trajectos de ensaio

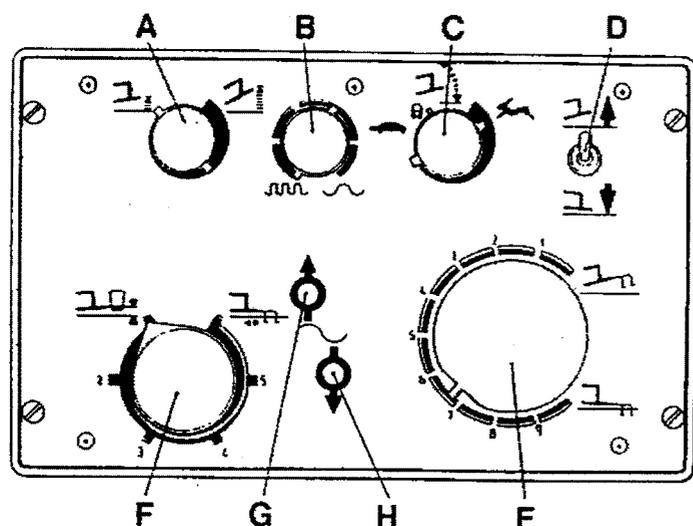


Fig. 11 - Interruptor de "posição de trabalho" (D) da consola de comando do sistema hidráulico do tractor Massey-Ferguson 3060

- disponibilizar indicadores para os fabricantes de alfaías agrícolas;
- facultar informação actualizada para o ensino e para a formação profissional agrícola.

#### Referências bibliográficas

- [1] Grogan, J.; Morris, D.A.; Searcy, S. W.; Stout, B. A., (1987) - *Microcomputer-based Tractor Performance monitoring and Optimization Systems*. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 38, 227-243.
- [2] Kushwaha, R. L.; Linke, C., (1996) - *Draft-speed relationship of simple tillage tools at high operating speeds*. Soil & Tillage Research, Vol. 39, 61-73.
- [3] Grevis-James, I.W.; DeVoe, D. R.; Bloome, P. D.; Batchelder, D. G.; Lambert, B. W., (1983) - *Microcomputer-Based Data Acquisition for Tractors*. Transactions of the ASAE, Vol. 26(3), 692-695.
- [4] Ragni, Luigi; Santoro, Giovanni, (1997) - *Trattore sensibilizzato*. Macchine e Motori Agricoli, nº 7/8, 39-45.
- [5] Cemagref, (1992) - *Les tracteurs agricoles*. Collection FORMAGRI, Volume 2, CEMAGREF-TEC & DOC, 1ª Edição.
- [6] Devel, J., (1989) - *L'électronique dans l'aide à la conduite des matériels agricoles et à la gestion parcellaire*. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 75 (5), 71-78.
- [7] Bodria, L., (1990) - *La electrónica en el tractor y las máquinas agrícolas (1ª parte)*. Máquinas y Tractores agrícolas Nº 7, 21-29.
- [8] McLaughlin, N. B.; Heslop, L. C.; Buckley, D. J.; Amour, G. R. St.; Compton, B. A.; Jones, A. M.; Van Bodegon, P., (1993) - *A General Purpose Tractor Instrumentation and Data Logging System*. Transactions of the ASAE, Vol. 36 (2), 265-273.
- [9] Serrano, João M.; Peça, José O., (1995) - *Sistemas de informação em tractores agrícolas: 1ª parte - A caminho de uma nova agricultura*. Vida Rural, Nº 1601, Abril 1995, 42-45.
- [10] Pang, S. N.; Zoerb, G. C.; Wang, G., (1985) - *Tractor Monitor Based on Indirect Fuel Measurement*. Transactions of the ASAE, Vol. 28 (4), 994-998.
- [11] Serrano, João M., (1994) - *Sistemas de Informação em Tractores Agrícolas*. Tese apresentada no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Serviços de Reprografia e Publicações da Universidade de Évora.
- [12] Serrano, João M.; Peça, José O.; Pinheiro, Anacleto C.; Campos, J., (1998) - *Tractor Performance Monitors, an aid that many tractor drivers ignore*. Paper Nº 98-A-132 International Conference on Agricultural Engineering - EurAgEng - Oslo.
- [13] Smith, John A.; Fornstrom, K. James, (1980) - *Energy Requirements of Selected Dryland Wheat Cropping Systems*. Transactions of the ASAE, Vol. 23 (4), 822-825, 830.
- [14] Bedri, A. A.; Marley, S. J.; Buchele, W. F.; Suray, T. A., (1981) - *Tractor Performance monitor Based on a Single-chip Microcomputer*. ASAE Paper Nº 81-1543, St. Joseph, MI: ASAE.
- [15] Grevis-James, I.W.; Bloome, P. D., (1982) - *A tractor Power Monitor*. Transactions of the ASAE, Vol. 25(3), 595-597.
- [16] Chung, Y. G.; Marley, S. J.; Buchele, W. F., (1983) - *A Data Acquisition System for Tractor Field Performance*. ASAE Paper Nº 83-120, St. Joseph, MI: ASAE.
- [17] Riethmuller, G. P.; Jarvis, R. J., (1986) - *The effect of the tine spacing and tillage depth on a subsoilers energy requirements on a deep yellow loamy sand*. Proceedings of the Conference on Agricultural Engineering of the Institution of Engineers, Austrália, Adelaide, 24-28 August, 315-319.
- [18] Bowers, C. G. Jr, (1989) - *Tillage Draft and Energy Measurements for Twelve Southeastern Soil Series*. Transactions of the ASAE; Vol. 32(5), 1492-1502.
- [19] Reece, A. R., (1961) - *A three point linkage dynamometer*. Journal of Agricultural Engineering Research, 6(1), 45-50.
- [20] Bigsby, F. W.; Barnes, K. K., (1964) - *Techniques of experimental stress analysis and statistics for determination of forces in mounted implement linkages*. Can. Agricultural Engineering 6, 4-7.
- [21] Marshall, D.; Buckley, D. J.; Doherty, G., (1982) - *Design, Development and Testing of a Tractor Data Acquisition System*. ASAE Paper Nº 82-5514, St. Joseph, MI: ASAE.
- [22] Clark, R. L.; Adsit, A. H., (1985) - *Microcomputer Based Instrumentation System to Measure Tractor Field Performance*. Transactions of the ASAE, Vol. 28 (2), 393-396.
- [23] Watts, C. W.; Longstaff, D. J., (1989) - *Mobile Instrumentation and Data Processing System for Testing Field Machinery*. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 43, 67-76.
- [24] Smith, L. A.; Barker, G. L., (1982) - *Equipment to Monitor Field Energy Requirements*. Transactions of the ASAE, Vol. 25 (6), 1556-1559.
- [25] Green, M. K.; Stout, B. A.; Searcy, S. W., (1985) - *Instrumentation package for Monitoring Tractor Performance*. Transactions of the ASAE, Vol. 28(2), 346-349;355.
- [26] Summers, J. D.; Khalilian, A.; Batchelder, D. G., (1986) - *Draft Relationships for Primary Tillage in Oklahoma Soils*. Transactions of the ASAE, Vol. 29 (1), 37-39.
- [27] Ribes, Jesus Gil, (1992) - *Ensayo en campo de tractores y operaciones mecanizadas*. Máquinas y tractores agrícolas, Número 6, Junio, 35-40.
- [28] Morera, L. S., (1993) - *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.
- [29] Smith, Lowrey A., (1993) - *Energy requirements for selected crop production implements*. Soil & Tillage Research, 25, 281-299.
- [30] Al-Suhaibani, S. A.; Bedri, A.; Babeir, A.; Kilgour, J., (1994) - *Mobile Instrumentation Package for Monitoring Tractor Performance*. King Saud University, Research Bulletin Nº 40, 26.
- [31] Glancey, James L.; Upadhyaya, Shrini K., (1995) - *An improved technique for agricultural implement draught analysis*. Soil & Tillage Research, Vol. 35, 175-182.
- [32] Perfect, E.; McLaughlin, N. B.; Kay, B. D., (1997) - *Energy Requirements for Conventional Tillage Following Different Crop Rotations*. Transactions of the ASAE, Vol. 40 (1), 45-49.
- [33] Al-Janobi, A. A., (2000) - *A Data-acquisition System to Monitor Performance of Fully Mounted Implements*. Applied Engineering in Agriculture, ASAE, Vol. 75, 167-175.
- [34] Serrano, João Manuel Pereira Ramalho, (2002) - *Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, 47-52.