

Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente

Fertilizers application: technology, energy efficiency and environment

João Serrano, José Peça, José M. Silva e Shakib Shahidian

*Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, 7002-554 Évora, Portugal.
E-mail: jmsr@uevora.pt, author for correspondence*

Recebido/Received: 2014.03.28
Aceitação/Accepted: 2014.06.20

RESUMO

A aplicação de fertilizantes minerais é um processo essencial para a manutenção de níveis de nutrientes no solo adequados ao desenvolvimento das culturas. No entanto, a aplicação destes produtos químicos sem critério origina problemas ambientais e tem custos económicos e energéticos. A disponibilidade de tecnologias de apoio à caracterização georreferenciada da variabilidade do solo e das necessidades das culturas, à análise espaço-temporal da informação e à aplicação variável de fertilizantes exige hoje um melhor conhecimento dos agricultores para sustentar as suas tomadas de decisão. Este artigo apresenta um conjunto de desenvolvimentos tecnológicos demonstrados em trabalhos anteriores por esta equipa de investigação, que permitem otimizar o desempenho energético do tractor agrícola (ao nível dos sistemas de apoio à condução, para aconselhamento sobre a gestão das opções da caixa de velocidades, do regime do motor e da tomada de força), e a eficiência do distribuidor na aplicação de fertilizantes (utilização de tecnologia de aplicação variável - VRT, assente em sistemas GPS de guiamento do tractor, sensores e actuadores). Estas duas vertentes, por um lado de contribuição para a optimização do desempenho energético do tractor e, por outro, de demonstração do potencial revelado por novas tecnologias na aplicação diferenciada de fertilizantes, incidem sobre factores de produção que representam pilares fundamentais numa exploração agrícola e enquadram-se no âmbito dos conceitos de agricultura sustentável e de agricultura de precisão.

Palavras-chave: apoio à condução do tractor, eficiência, distribuidores de adubo, tecnologia

ABSTRACT

The application of mineral fertilizers is an essential process for maintaining soil nutrient levels that are adequate for crop development. Nonetheless, the empirical application of these chemical products originates environmental problems and involves economic and energetic costs. The availability of technologies that support the geo-referenced characterization of soil variability and of the crop needs, the space-time analysis of information, and the variable application of fertilizers requires greater know-how by the farmers in order to sustain their decision making. This article presents a set of technological developments demonstrated in previous works by this research team through which it is possible to optimize the energetic performance of the farm tractor (at the level of the driving support systems, advice on the transmission ratios at the gear box, the management of the engine speed and the power take off), as well as the efficiency of the fertilizer application (use of variable rate technology, VRT, based on GPS tractor guidance systems, sensors and actuators). These two aspects, which on one hand contribute to optimizing the energetic performance of the tractor, and on the other, demonstrate the potential of the new technologies for the differential application of fertilizers, affect the production factors that represent fundamental pillars in a farm and are part of the concepts of sustainable agriculture and of precision agriculture.

Keywords: tractor driving support, efficiency, fertilizer distributor, technology

Introdução

A aplicação de fertilizantes minerais é um processo essencial para a manutenção de níveis de nutrientes no solo adequados ao desenvolvimento das culturas. No entanto, a aplicação destes produtos químicos sem critérios de racionalidade e eficiência origina problemas ambientais e tem custos económicos e energéticos.

A aplicação de fertilizantes pressupõe o envolvimento de um trinómio: o operador, o tractor agrícola como fonte de potência e o equipamento que distribui ou espalha o adubo (distribuidor). Optimizar a aplicação implica rentabilizar o desempenho de cada um destes elementos e do conjunto. É comum, quando se aplica adubo, a concentração do operador centrar-se no distribuidor, nas regulações que permitem dosar a quantidade pretendida de fertilizante por unidade de área. Poucos são os agricultores que, depois de utilizarem o tractor em trabalhos de tracção têm em consideração o ajustamento da pressão dos pneus ou do lastro do tractor antes de iniciar a aplicação de fertilizantes. Os resultados obtidos por Serrano *et al.* (2009) mostraram, por exemplo, que a utilização de lastro líquido nos pneus do tractor em trabalhos de tracção não melhorou a capacidade de trabalho (em ha h⁻¹) e levou a um agravamento do consumo de combustível por hectare (l ha⁻¹) de 5 a 10%. Por outro lado, estes ensaios também mostraram um agravamento do consumo de combustível por hectare (l ha⁻¹) de 10 a 25% pela utilização de pressões de enchimento dos pneus mais elevadas do que as recomendadas pelos fabricantes dos pneus. Pelo que, a prática comum e indiscriminada na região de utilização de lastro líquido nos pneus e pressões de enchimento dos pneus desajustadas podem e devem ser questionadas.

Ainda de forma mais evidente, poucos são os operadores que utilizam as possibilidades que os modernos tractores agrícolas permitem ao nível dos sistemas de apoio à condução e das inúmeras combinações da caixa de velocidade, ou a tomada de força económica, quando as características do trabalho o permitem. Serrano *et al.* (1998) mostraram que a taxa de utilização destes sistemas de apoio à condução é muito reduzida. Os resultados obtidos em ensaios de campo (Serrano *et al.*, 2005) 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 reduções 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.

Tradicionalmente são utilizados tractores agrícolas sem qualquer equipamento de apoio à condução ou de monitorização do desempenho, associados a distribuidores de adubo pouco sofisticados e na maioria das vezes sem adequada regulação. Os distribuidores de fertilizantes regulados por tecnologia tradicional, conduzem à aplicação homogénea em toda a parcela.

Quando o que apenas interessa é o resultado final (aplicar uma quantidade média de fertilizante por unidade de área), sem preocupação pela forma como o processo é conduzido, revela-se uma forma de estar na agricultura pouco exigente, incompatível com os desafios que a agricultura moderna coloca como actividade económica.

A variabilidade dos solos e a importância desta para determinar os benefícios potenciais da adopção de sistemas de agricultura de precisão (King *et al.*, 2005) é, hoje em dia, uma prática incontornável. Especificamente em relação ao fósforo (P), por exemplo, McCormick *et al.* (2009) obtiveram valores do coeficiente de variação espacial (CV) superiores a 50%. Esta variabilidade pode ser causada por factores de ordem climática ou topográfica, do material originário ou da vegetação, podendo resultar também de complexos processos geológicos e pedológicos, para além de práticas de gestão diferenciada (Mallarino e Wittery, 2004).

A variação dos níveis de nutrientes no solo leva, no caso da aplicação uniforme de fertilizantes, à aplicação excessiva nalguns locais e aplicação abaixo do recomendado noutros (Mallarino e Wittery, 2004), de que resultam perdas agronómicas e económicas directas que conduzem a um acréscimo de poluição ambiental (Maleki *et al.*, 2007; McCormick *et al.*, 2009). Neste contexto, justifica-se a implementação de metodologia que permita identificar e gerir zonas das parcelas com potencial para gestão diferenciada, de forma a racionalizar a utilização dos factores de produção (neste caso, os *inputs* de fertilizantes), através de novas tecnologias para aplicação das quantidades de nutrientes adequadas a cada local. A quantidade de um nutriente a aplicar em cada parcela é, normalmente, calculada a partir do balanço entre os fornecimentos naturais do solo e do ambiente (*inputs*), a extracção pelas plantas e as inevitáveis perdas (*outputs*) (Haneklaus, 2006). Um balanço positivo indica acumulação do nutriente, enquanto um balanço negativo significa a degradação dos níveis de fertilidade do solo. Sims *et al.* (2002) identificaram 4 níveis de P₂O₅ no solo para efeitos de desenvolvimento das pastagens: baixo (0-25 mg kg⁻¹), médio (26-50 mg kg⁻¹), óptimo (51-100 mg kg⁻¹), e excessivo (> 100 mg kg⁻¹). Assim, após o

levantamento das características do solo e depois de estabelecido o objectivo a atingir quanto à concentração de determinado nutriente no solo, o gestor da parcela pode definir zonas de aplicação diferenciada, com maiores concentrações nas zonas mais deficitárias e menores ou mesmo sem aplicação, nas zonas onde a concentração do nutriente no solo é próximo do pretendido.

Estas duas vertentes, por um lado de contribuição para a optimização do desempenho energético do tractor e, por outro, de demonstração do potencial revelado por novas tecnologias na aplicação diferenciada de fertilizantes, associadas à experiência do operador, permitem uma gestão mais racional na utilização dos factores de produção, que se traduzem na diminuição dos custos de produção, que se enquadram no âmbito dos conceitos de agricultura sustentável e de agricultura de precisão (Zhang *et al.*, 2010).

Desenvolvimentos tecnológicos recentes disponibilizam no tractor agrícola moderno sistemas de monitorização e apoio à condução que permitem optimizar o seu desempenho ao nível da gestão do regime do motor e da tomada de força, da escolha da relação de transmissão da caixa de velocidades, do lastro e da pressão de enchimento dos pneus. Por outro lado, a utilização de tecnologia de aplicação variável (VRT) assente em sistemas GPS, sensores e atuadores, permitem aplicar diferenciadamente os adubos nas parcelas, ou seja permitem aplicar a quantidade certa, no local adequado, no momento oportuno. Estes desenvolvimentos exigem dos agricultores e, especialmente, dos operadores de tractores e máquinas agrícolas formação actualizada e justifica a preocupação deste artigo em demonstrar o potencial de novas tecnologias disponíveis.

Sistemas de informação em tractores agrícolas – contributo para a eficiência energética

Na Figura 1 pode ver-se o exemplo do sistema de informação e apoio à condução “ACET – Ecocontrol” dos tractores agrícolas da marca “Renault”. Este sistema tem por base informação detalhada do comportamento do motor em bancos de ensaios, sujeito a solicitações muito diversas. O operador ao seleccionar a função económica recebe no painel do monitor de rendimento informação sobre a combinação do regime e da relação de transmissão da caixa de velocidades que optimiza a utilização do tractor nas condições de trabalho em causa.

Na Figura 2 (Consola do sistema de aconselhamento ao operador) pode-se observar o monitor do sistema “Informat” dos tractores agrícolas da marca “Steyr” para apoio à gestão do par relação de transmissão da caixa de velocidades - regime do motor. Quando o operador selecciona a função económica pode fazê-lo sob duas perspectivas: para optimizar a capacidade de trabalho, ou seja, quando o tempo disponível para realizar o trabalho é limitado; ou o consumo de combustível por hectare, ou seja, quando for possível conciliar o tempo disponível para realizar a operação cultural com estratégias de condução económicas em termos de energia. Estes sistemas baseiam-se, mais uma vez, em informação obtida em ensaios realizados pelos fabricantes, cujos resultados constituem algoritmos de suporte à informação. A Figura 3 ilustra um exemplo de curvas de desempenho do motor, que permitem compreender as referidas estratégias de optimização da capacidade de trabalho (Ct, ha h⁻¹) ou do consumo de combustível por hectare (Cha, l ha⁻¹). Estes sistemas de informação mostram a preocupação dos fabricantes de

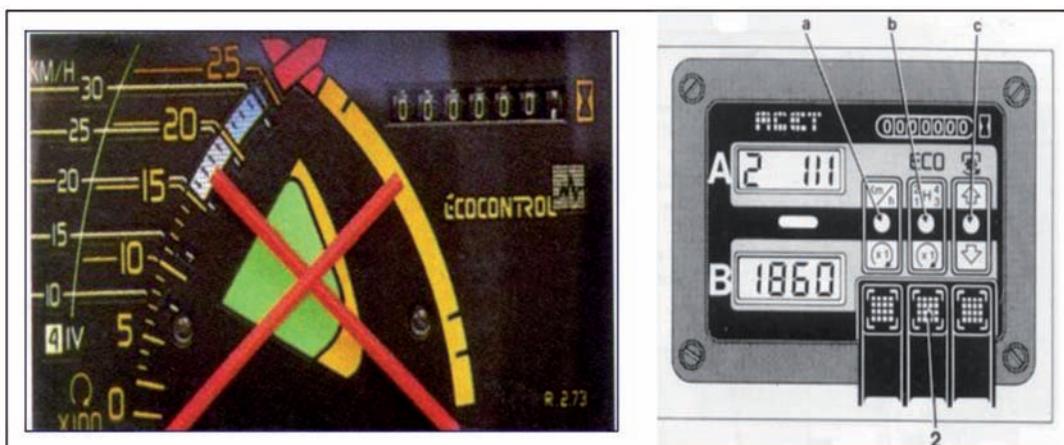


Figura 1 – Sistema de aconselhamento ao operador “ACET-Ecocontrol” dos tractores da marca “Renault”

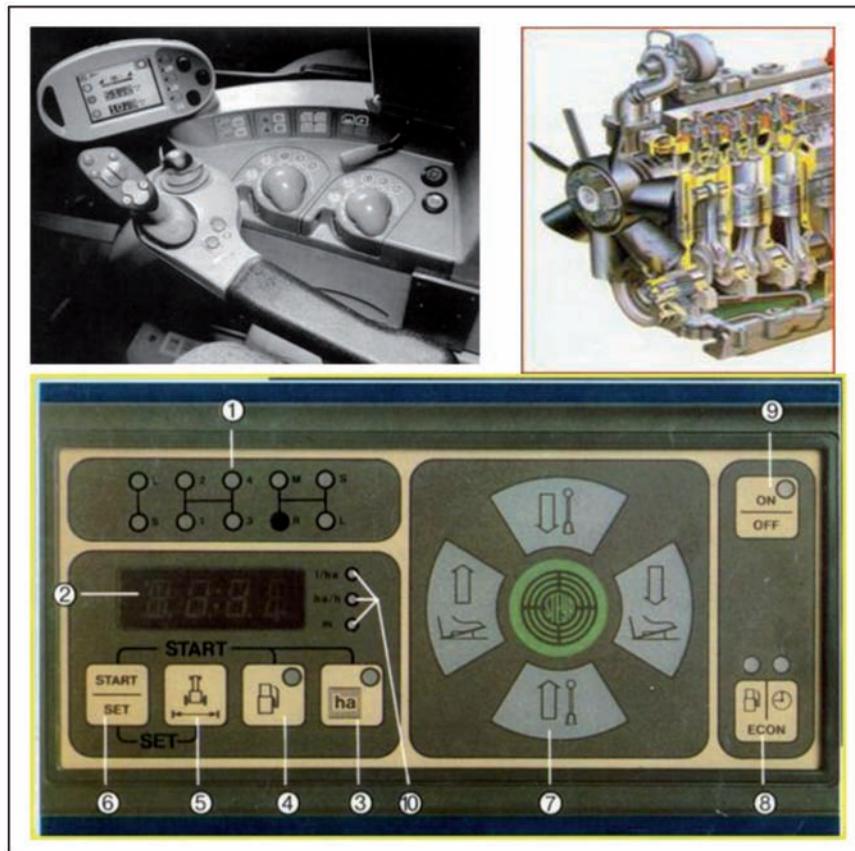


Figura 2 – Consola do sistema de aconselhamento ao operador “Informat” da marca de tratores agrícolas “Steyr” (em baixo): indicação das estratégias de condução ao nível da relação de transmissão da caixa de velocidades e do regime do motor (em cima)

tratores agrícolas em proporcionar aos operadores sistemas de aconselhamento perante as inúmeras opções estratégicas de condução que dispõem.

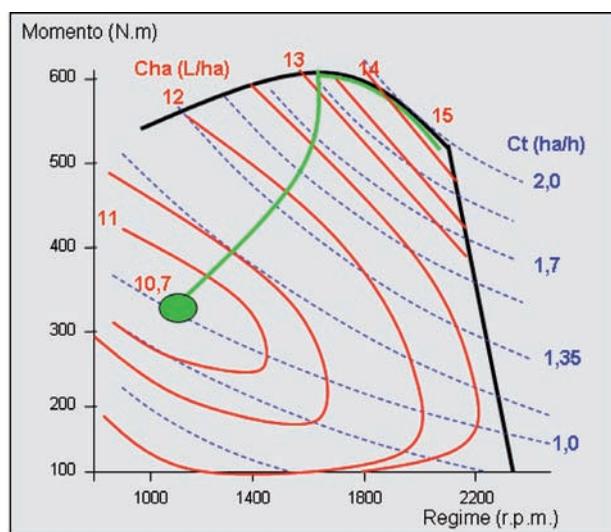


Figura 3 – Curvas de desempenho do motor: bases para optimização da capacidade de trabalho ou do consumo de combustível por hectare

Tecnologia para aplicação diferenciada de fertilizantes – o fechar do ciclo

A aplicação diferenciada de fertilizantes pressupõe a utilização de tecnologia GPS (“Global Positioning System”) associada a sensores para levantamento expedito da variabilidade do solo (por exemplo, medidores de condutividade eléctrica) e da pastagem (por exemplo, sensores de vegetação ou sensores de capacitância).

Na fase seguinte, a informação espacial georreferenciada é organizada, sob a forma de mapas, com os sistemas de informação geográfica (SIG). A sobreposição de várias camadas de informação e sua integração com o conhecimento agronómico sustentará a tomada de decisão relativa à pertinência da aplicação diferenciada de fertilizantes.

A concretização do plano de aplicação, que é o fechar do ciclo em agricultura de precisão, pressupõe a utilização de tecnologias para:

(i) Guiamento do tractor (sistemas de barras de luzes, “lightbar”), garantindo a realização de trajectos paralelos sem a necessidade de utilizar operadores



Figura 4 – À esquerda (a): sistema de apoio à condução tradicional (operadores auxiliares com bandeirolas); ao centro (b): sistema de guiamento instalado no tractor agrícola; à direita (c): pormenor do sistema de guiamento da “Topcon”

auxiliares com bandeirolas (Figura 4); este sistema não será, naturalmente, necessário em culturas em linha (pomares);

(ii) Monitorização do trabalho realizado em termos de quantidades de adubo aplicadas e áreas cobertas; são utilizados sensores de velocidade de deslocamento (radar ou sensor magnético de proximidade nas rodas do tractor) e sensores de débito de massa sob a tremonha do distribuidor (células de carga);

(iii) Aplicação variável de adubo em que o comando do distribuidor é assegurado por um plano de aplicação previamente elaborado (normalmente num cartão de memória onde se estabelecem as quantidades de adubo a aplicar em função das coordenadas geográficas da parcela), o qual comanda actuadores eléctricos que gerem a abertura e fecho das placas de dosagem do distribuidor de adubo.

A Figura 5 ilustra um exemplo de tecnologias integradas para controlo de um distribuidor de adubo.

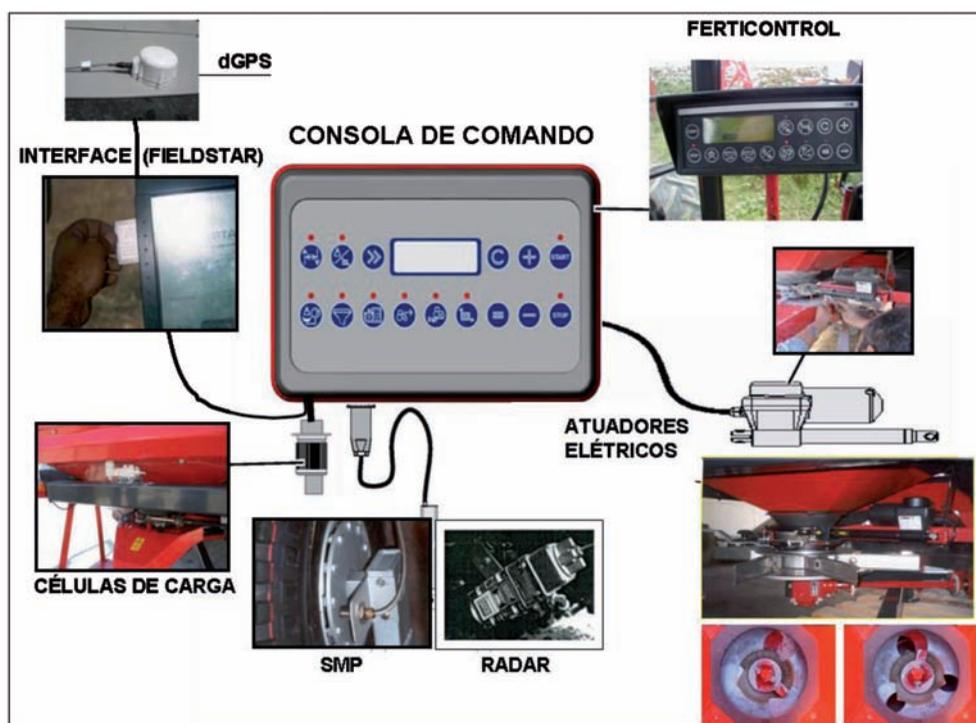


Figura 5 – Tecnologia de aplicação variável (VRT) em distribuidores de adubo

Aplicação uniforme versus aplicação diferenciada de fertilizantes

Para ilustrar a questão da eficiência energética na aplicação de fertilizantes apresenta-se o estudo realizado numa parcela de cerca de 6 ha da Herdade da Revilheira, situada próximo de Reguengos de Monsaraz (38°27'51,6"N e 7°25'46,2"W).

Entre 2000 e 2003, em Outubro - Novembro de cada ano, procedeu-se à aplicação na parcela de uma quantidade homogénea de adubo fosfatado (300 kg ha⁻¹ de Super fosfato 18%, SP18, que doseia 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅), tendo por base a recolha em Junho de 2000 de uma amostra compósita de solo da parcela. Na parcela foram aplicados, em média, anualmente cerca de 1800 kg de SP18 (7200 kg no conjunto dos 4 anos). Foi utilizado na aplicação um tractor agrícola "Ford 6600" e um distribuidor de adubo pendular "Vicon V-400", com 12 m de largura de trabalho, sem qualquer sistema electrónico de informação ou de comando. O apoio à condução em linhas paralelas foi dado por dois operadores com passo aferido e com bandeirolas sinalizadoras, colocados em extremidades opostas da parcela.

Entre 2004 e 2007 procedeu-se à aplicação diferenciada na parcela de SP18, tendo sido utilizadas 4 classes de aplicação de SP18 em kg ha⁻¹: (i) 440; (ii) 330; (iii) 165; e (iv) 0 (correspondentes, respectivamente, a 80, 60, 30 e 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Estas classes foram estabelecidas a partir da concentração de P₂O₅ no solo obtida em 76 amostras compósitas da camada superficial do solo (profundidade de 0,30 m), georreferenciadas com GPS. Assim, foram utilizadas as classes (i, ii, iii e iv) de aplicação para valores de P₂O₅ no solo entre 0-30, 30-50, 50-80 e > 80 mg kg⁻¹, respectivamente.

As quantidades de adubo SP18 aplicadas anualmente na parcela foram de 2500 kg em 2004, 2178 kg em 2005, 1664 kg em 2006 e 1930 kg em 2007 (Fi-

gura 6), que corresponde a um total acumulado em 4 anos de 8272 kg. Nas Figuras 7-10 são apresentados os mapas de P₂O₅ no solo (em mg kg⁻¹) e de P₂O₅ fornecido (em kg ha⁻¹) em cada um dos quatro anos de aplicação diferenciada. Foi utilizado um tractor agrícola "Massey-ferguson 6130" equipado com o sistema de informação "Datatronic 2". Em trabalho foi utilizado o módulo comparativo deste sistema de informação para seleccionar a opção da caixa de velocidades que minimizava o consumo de combustível por hectare para o regime do motor que garantia o regime normalizado da tomada de força de 540 r.p.m. A aplicação foi realizada com um distribuidor de adubo centrífugo "Vicon RS-EDW", de 28 m de largura de trabalho. Foi utilizado o sistema de guiamento do tractor ("lightbar") que permitiu manter o distanciamento entre passagens consecutivas sem necessidade de operadores auxiliares com bandeirolas. O distribuidor de adubo encontrava-se equipado com células de carga e monitor de comando "Ferticontrol", recebendo informação da velocidade do conjunto a partir do radar que equipava o tractor. O sistema "Fieldstar" foi utilizado como interface entre uma antena dGPS (antena com correcção diferencial do sinal GPS), um cartão de memória com o plano de aplicação diferenciado e o sistema "Ferticontrol".

Os resultados obtidos, em termos de quantidade de adubo aplicado, não evidenciam vantagem económica pela aplicação diferenciada (período 2004-2007) relativamente à aplicação homogénea (2000-2003). A análise detalhada e sistemática da informação recolhida na parcela do campo experimental revela uma tendência anisotrópica clara (Figura 11), com o fluxo de nutrientes (entre eles o fósforo), das zonas de vale (mais produtivas e de pastoreio mais intenso) para as zonas altas da parcela (onde tendem a permanecer os animais nos períodos de descanso).

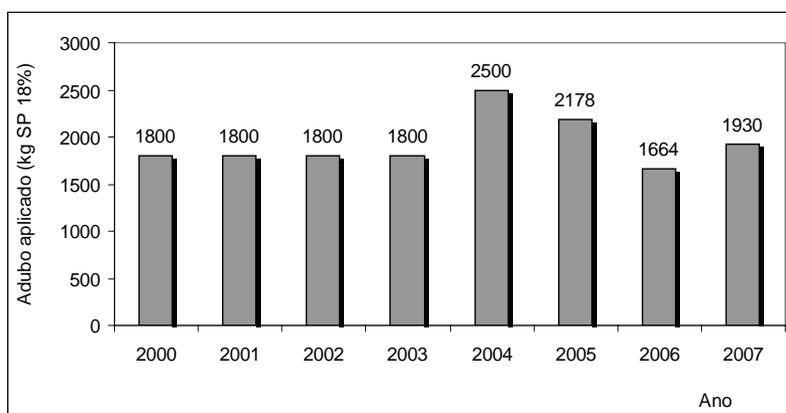


Figura 6 – Evolução das quantidades de adubo (Super fosfato 18%) aplicadas no campo experimental entre 2000 e 2007

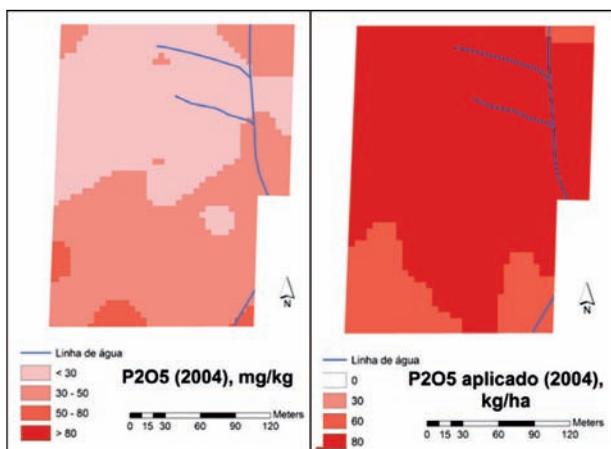


Figura 7 – Mapas de P_2O_5 no solo (à esquerda) e aplicado (à direita), em 2004

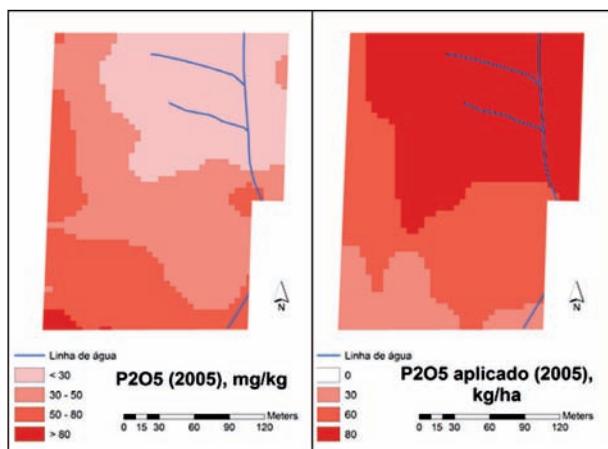


Figura 8 – Mapas de P_2O_5 no solo (à esquerda) e aplicado (à direita), em 2005

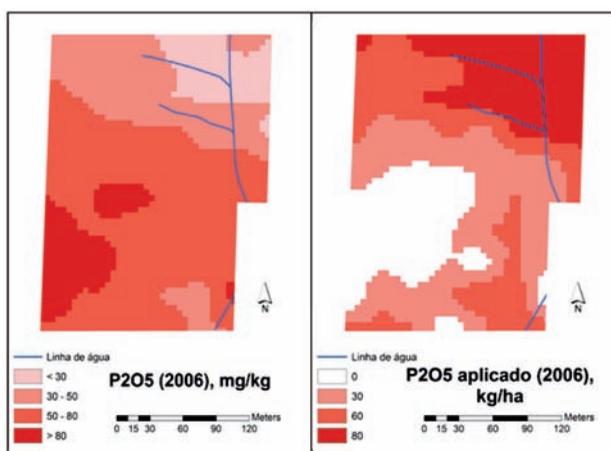


Figura 9 – Mapas de P_2O_5 no solo (à esquerda) e aplicado (à direita), em 2006

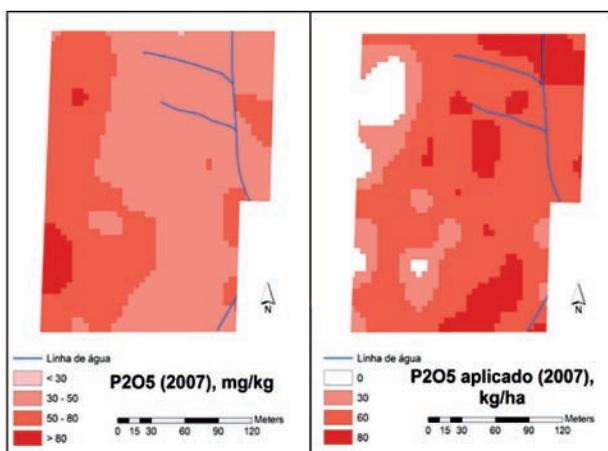


Figura 10 – Mapas de P_2O_5 no solo (à esquerda) e aplicado (à direita), em 2007

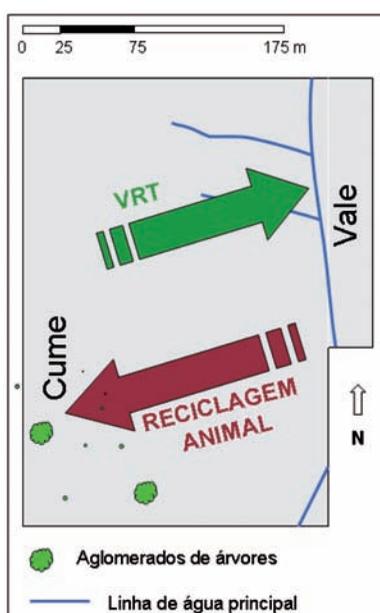


Figura 11 – A tecnologia de aplicação variável (VRT) como resposta à dinâmica e fluxo de nutrientes em pastagens pastejadas

A tecnologia de aplicação variável surge então como uma resposta que permite corrigir esta tendência de acumulação de nutrientes em determinadas zonas em consequência da dinâmica do pastoreio animal, reduzindo os riscos de perdas de nutrientes, de poluição ambiental, e contribuindo para uma maior homogeneidade da fertilidade do solo. Confirma-se, assim, que o balanço de ganhos e de perdas em pastagens pastoreadas é um processo de longo prazo, onde é determinante a influência do pastoreio animal, tornando complexo o processo de cálculo de necessidades fertilizantes (Efe Serrano, 2006).

Perspectiva integrada de utilização do conjunto tractor – distribuidor de adubo

A Figura 12 mostra que a abordagem integrada da eficiência energética global de utilização do tractor e do distribuidor de adubo tem como denominadores comuns o operador e o aproveitamento que faz das tecnologias que tem à disposição. É para a divulgação das tecnologias e para a formação dos operadores que deve ser dirigido o investimento no futuro. As novas ferramentas colocadas à disposição do agricultor, nomeadamente na monitorização do solo, da pastagem e do animal em pastoreio, per-

mitem hoje um melhor conhecimento dos balanços de nutrientes no solo e contribuem para uma gestão mais racional dos recursos disponíveis (Figura 13).

Implicações práticas

Este artigo faz uma abordagem integrada ao conjunto tractor - distribuidor de adubo, com um denominador comum, o aproveitamento que o operador faz das tecnologias que se encontram à sua disposição. Do lado do tractor, há potencial para uma utilização mais eficiente verificando e adaptando o lastro e a pressão de enchimento dos pneus em função do tipo de utilização que se faz do tractor, de acordo com as indicações dos fabricantes. Outra possível vertente de melhoria da eficiência resulta do correcto aproveitamento das opções da caixa de velocidades, preferencialmente optando pela escolha de mudanças mais altas, com regimes mais baixos, sem colocar em causa a segurança do operador e a qualidade do trabalho realizado. No estabelecimento do caderno de encargos é fundamental considerar a possibilidade de aquisição de tractores equipados com tomada de força (tdf) económica (permite obter o regime normalizado de 540 r.p.m. na tdf com um regime mais baixo no motor, a que correspondem menores

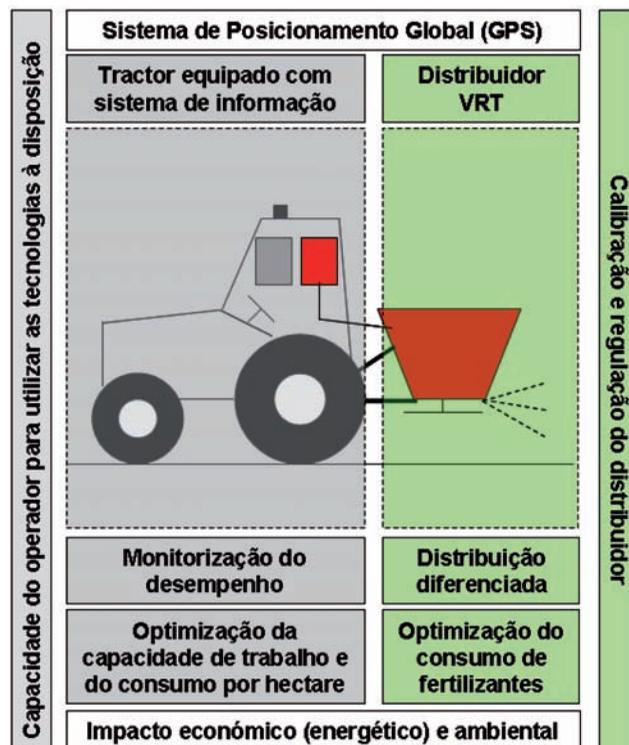


Figura 12 – Conjunto tractor – distribuidor na perspectiva da eficiência energética global

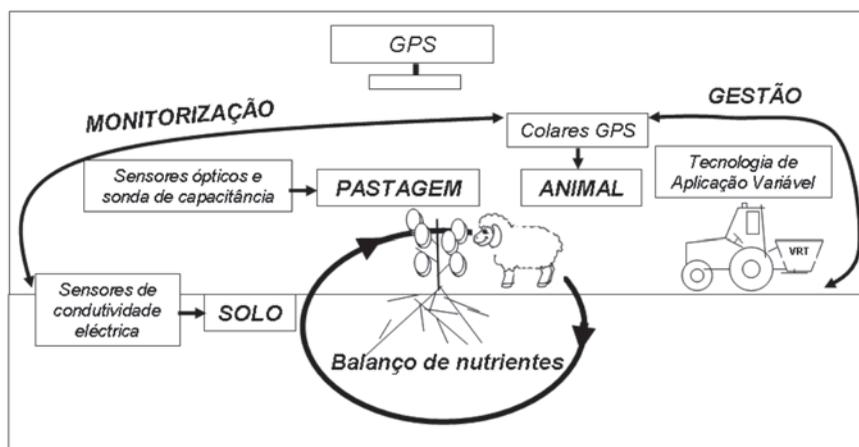


Figura 13 – Tecnologias para monitorização do solo, da pastagem e do animal em pastoreio fundamentais para o cálculo do balanço de nutrientes e para a gestão diferenciada da fertilização

consumos de combustível), adequado a operações culturais pouco exigentes em tracção ou em potência, como é o caso da utilização de distribuidores centrífugos de adubo. Na escolha do tractor agrícola deve-se igualmente privilegiar a inclusão de sistemas de informação e monitorização do desempenho do tractor, que poderão funcionar como sistemas de aconselhamento ao operador; estes sistemas permitirão também registar dados como a área trabalhada, o consumo de combustível, a capacidade de trabalho ou o consumo de combustível por hectare, fundamentais numa gestão organizada.

Da parte do distribuidor, para além das regulações e manutenções recomendadas no manual do distribuidor, há potencial para uma utilização mais eficiente procurando, logo na aquisição, seleccionar equipamentos com grande capacidade de projecção e, conseqüentemente, largura de trabalho, aumentando, assim, a sua capacidade de trabalho. Quando se utilizam distribuidores centrífugos com uma banda de distribuição muito ampla é fundamental a aquisição de um sistema de apoio à condução. Estes sistemas, que têm por base a tecnologia GPS (conhecidos vulgarmente como “barras de luzes”) permitem ao operador realizar uma passagem inicial junto à bordadura da parcela e definir o afastamento entre passagens sucessivas (largura de trabalho). A partir daí o sistema guia o operador para que este possa conduzir o tractor mais próximo possível da linha de referência, evitando-se sobreposições desnecessárias ou afastamento excessivo entre passagens, com implicações negativas na homogeneidade do perfil transversal de distribuição do adubo. No momento da compra, o agricultor deverá optar igualmente por equipamentos dotados de sistemas

de comando electrónico, capazes de regular, quantificar e monitorizar as quantidades de adubo efectivamente distribuídas.

Em resumo, pode-se afirmar que a opção por sistemas VRT permite ajustar a dose de adubo a aplicar em função da variabilidade espacial dos nutrientes no solo. O apoio à decisão do doseamento resultará das ferramentas tecnológicas que se dispuser para levantar essa variabilidade de forma expedita. No final, independentemente de se conseguir ou não vantagem objectiva na quantidade de adubo aplicada de forma diferenciada, haverá sempre um benefício ambiental, impedindo excessiva acumulação em determinadas zonas do campo, reduzindo-se o risco ambiental.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE - e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito dos Projectos Estratégicos PEst-C/AGR/UI0115/2011 e PEst-OE/AGR/UI0115/2014.

Referências bibliográficas

- Efe Serrano, J. (2006) - *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Évora, Universidade de Évora- ICAM (Ed.), Portugal, p. 165-178.
- Haneklaus, S. (2006) - Site-specific nutrient management: objectives, current Status, and future research needs. In: Ancha Srinivasan (Ed.) - *Handbook*

- of *Precision Agriculture, Principles and Applications*, pp 91-270.
- King, J.; Dampney, P.; Lark, R.; Wheeler, H.; Bradley, R. e Mayr, T. (2005) - Mapping potential crop management zones within fields: use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. *Precision Agriculture*, vol. 6, n. 2, p. 167-181.
- Maleki, M.; Mouazen, A.; Ramon, H. e Baerdemaeker, J. (2007) - Optimisation of soil VIS-NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil & Tillage Research*, vol. 94, n. 1, p. 239-250.
- Mallarino, A.P. e Wittery, D.J. (2004) - Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*, vol. 5, n. 2, p. 131-144.
- McCormick, S.; Jordan, C. e Bailey, J. (2009) - Within and between-field spatial variation in soil phosphorus in permanent grassland. *Precision Agriculture*, vol. 10, n. 3, 262-276.
- Serrano, J.M.; Peça, J.O.; Pinheiro, A.C. e Campos, J. (1998) - Tractor Performance Monitors, an aid that many tractor drivers ignore. In: *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering*. Oslo 24-27 August, paper nº 98-A-132, 6 p.
- Serrano, J.M.; Peça, J.O.; Pinheiro, A.C.; Carvalho, M.J.; Nunes, M.; Ribeiro, L. e Santos, F. (2005) - O consumo de combustível por hectare como indicador da eficiência energética de utilização do tractor agrícola em mobilização do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 3/4, p. 457-471.
- Serrano, J.M.; Peça, J.O.; Marques da Silva, J. e Márquez, L. (2009) - The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. *Biosystems Engineering*, vol. 102, n. 1, p. 51-62.
- Sims, J.T.; Leytem, A.B. e Gartley, K.L. (2002) - *Interpreting soil phosphorus tests*. Department of Plant and Soil Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, University of Delaware, Newark, DE.
- Zhang, X.; Shi, L.; Jia, X.; Seielstad, G. e Helgason, C. (2010) - Zone mapping application for precision-farming: a decision support tool for variable rate application. *Precision Agriculture*, vol. 11, n. 2, p. 103-114.