

Variabilidade espacial de uma cultura de milho (*Zea mays*): influência da distribuição vertical de semente

Spatial variability of a maize crop (*Zea mays*): importance of seeders vertical distribution

Luís A. Conceição¹, Constantino Valero², Pilar Barreiro Elorza³, Susana Dias⁴ e Ricardo Freixial⁵

¹ ICAAM, Departamento de Agricultura e Recursos Naturais, Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, Av. 14 de Janeiro S/N, 7350-903 Elvas, Portugal. E-mail: luis_conceicao@esaelvas.pt, author for correspondence

² Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Espanha. E-mail: constantino.valero@upm.es

³ Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Espanha. E-mail: pilar.barreiro@upm.es

⁴ Departamento de Agricultura e Recursos Naturais, Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, Av. 14 de Janeiro S/N, 7350-903 Elvas, Portugal. E-mail: sdias@esaelvas.pt

⁵ ICAAM, Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, Portuga. E-mail: rmc@uevora.pt

Recebido/Received: 2014.04.18

Aceitação/Accepted: 2014.06.20

RESUMO

Com o objetivo de estudar a influência da distribuição vertical de semente na variabilidade espacial da implantação de uma cultura de milho em diferentes sistemas de preparação do solo (mobilização convencional, mobilização mínima e sementeira direta), realizaram-se nas campanhas de 2011 e 2012 dois ensaios de campo na região do Alentejo. A avaliação da distribuição vertical de semente fez-se pela determinação da profundidade de sementeira medindo o comprimento do mesocótilo em plântulas de milho. Em sementeira direta foram ainda testadas duas velocidades de trabalho. Os resultados demonstraram que o melhor desempenho de distribuição vertical da semente foi conseguido em sementeira direta com o aumento de velocidade de trabalho de 4 para 6 km h⁻¹ (com um coeficiente de variação, CV, de 10,1%). Uma ANOVA de duplo fator demonstrou que a resistência mecânica do solo e a velocidade de trabalho determinaram diferenças significativas na profundidade de sementeira; a profundidade de sementeira causou diferenças significativas no tempo médio (TME) e percentagem de emergência (PE) da cultura. Os elevados CV observados sugerem a necessidade de uma melhor calibração dos dispositivos de controlo de profundidade dos semeadores por parte dos operadores em campo ou o aperfeiçoamento dos mesmos.

Palavras-chave: agricultura de precisão, mecanização, milho, profundidade de sementeira, sementeira direta

ABSTRACT

Among the various factors that contribute towards producing a successful maize crop, seed depth placement is a key determinant, especially in a no-tillage system. The main objective of this work was to evaluate the spatial variability of seeders vertical distribution and crop establishment in a maize crop under different tillage conditions, using precision farming technologies carried out in 2011 and 2012. Considering the lowest coefficient of variation of seed depth placement of 10.1%, best seeder performance was achieved in no-tillage condition increasing forward speed from 4 to 6 km h⁻¹. A two factor ANOVA showed that the effect of soil mechanical resistance and work speed in no-tillage caused significant differences in seed depth placement. Seeding depth had a significant impact on mean emergence time and percentage of emerged plants and high coefficients of variation suggest a need for improvements in controlling the seeders sowing depth mechanism or more accurate calibration by operators in the field.

Keywords: precision farming, agricultural mechanization, maize, seed depth, no-tillage

Introdução

De acordo com informação disponibilizada pela Comissão Europeia com base no modelo Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (Kirkby *et al.*, 2004), tanto Portugal como as regiões ocidentais de Espanha apresentam suscetibilidade de erosão do solo por ação da água. Ainda assim, segundo dados publicados pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (Piorr, 2011), em países como Portugal e Espanha, apesar de uma tendência crescente por parte dos agricultores da Comunidade Europeia para a adoção de técnicas de agricultura de conservação, esta é apenas praticada em aproximadamente 20% das terras aráveis. Nos últimos anos têm surgido diferentes conceitos de agricultura em respeito pelo ambiente, como a agricultura biológica, de conservação e de precisão. Destes, se a adoção dos conceitos de agricultura biológica está relacionada com a aceitação de um conjunto de normativas legais, a agricultura de conservação parece estar bastante mais dependente de uma mudança de atitude e conhecimento (EISA, 2009). De acordo com Derpsch *et al.* (2010), de entre as técnicas de agricultura de conservação, a técnica de sementeira direta é a que consiste na deposição da semente no solo não mobilizado. Segundo o mesmo autor, estima-se que a mesma seja praticada em mais de 100 milhões de hectares em diferentes regiões edafoclimáticas. Menores custos de mecanização, maior eficiência energética e maiores eficiências de campo, bem como inúmeras vantagens de caráter ambiental estão associadas ao conceito de sementeira direta, comparativamente com outras técnicas de agricultura de conservação ou agricultura tradicional (Uri, 2000; Tabatabaeefar *et al.*, 2009). Borin *et al.* (1997) obtiveram uma redução do consumo de combustível de 10 e de 32% para operações de sementeira em mobilização mínima e sementeira direta, respetivamente. Do ponto de vista do ambiente a adoção da técnica de sementeira direta contribui não só para a redução da erosão do solo e aumento do teor de matéria orgânica do mesmo, mas também favorece a sua capacidade de troca catiónica e melhora a sua estrutura física de macro e microporosidade e retenção de água, contribuindo para o incremento da produtividade das culturas (Carvalho e Basch, 1999; Govaerts *et al.*, 2009), maior retenção do carbono orgânico no solo (Basso *et al.*, 2011) e redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Ussiri *et al.*, 2009), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄) (Ussiri e Lal, 2009) na atmosfera. Sá *et al.* (2004) observaram a importância do tempo de adoção da técnica de sementeira num con-

junto de ensaios ao longo de 10 anos para que as alterações como o aumento do teor de matéria orgânica do solo, agregação do solo e capacidade de troca catiónica de nutrientes se processem. Segundo Madejón *et al.* (2009) a adoção de técnicas de agricultura de conservação provou ser uma estratégia determinante no melhoramento da fertilidade dos solos nas regiões Mediterrâneas de Espanha. Com efeito, a longo prazo verificaram-se melhorias significativas nas propriedades bioquímicas do solo, com aumento dos teores em matéria orgânica e atividade enzimática nas camadas superficiais de solos sob efeito de técnicas de mobilização mínima ou sementeira direta comparativamente aos solos onde continuamente se praticava agricultura convencional (Madejón, 2009). Os menores custos de produção e a melhoria na conservação do solo e da água são fatores que cada vez mais impulsionam a adoção das técnicas de agricultura de conservação e da sementeira direta nos países Mediterrâneos (Soane *et al.*, 2012).

Em Portugal, desde a década de 80 do século passado que têm vindo a ser realizados diversos ensaios comparativos de técnicas de mobilização convencional com mobilização mínima e sementeira direta em diferentes culturas de cereais para grão e forragens. À exceção da cultura de girassol de sequeiro, não existem quebras de produtividade em sementeira direta e, em regadio, torna-se possível a realização de duas culturas no mesmo ano (Carvalho *et al.*, 1994). Atualmente em Portugal estima-se em 32000 ha a área de sementeira direta (FAO Aquastat, 2013), sendo o milho a principal cultura de regadio praticada sob esta técnica, nomeadamente nas regiões do Ribatejo e Alentejo. Nesta região apresenta-se particularmente importante pela crescente área de regadio sob influência do perímetro de rega da barragem do Alqueva. De acordo com informação reunida junto de agricultores do distrito de Évora para a campanha de 2012/13 a redução em custos de mecanização de um sistema de mobilização mínima para sementeira direta é de 120 €/ha (Conceição, 2013). São, contudo, conhecidas limitações à implementação da técnica de sementeira direta, relacionadas com a variabilidade das características físicas do solo, como a sua textura e o manejo dos resíduos de culturas anteriores que condicionam a uniformidade de distribuição da semente e assim a sua germinação e emergência (Valero *et al.*, 2010). No caso da região do Alentejo, a elevada variabilidade na sua composição geológica (Atlas do Ambiente, 2005) e um clima de tipo Mediterrâneo *Csa* segundo a classificação climática de Koppen-Geijer (Kotteck *et al.*, 2006), caracterizado por verões quentes e secos

e invernos húmidos e frios, contribui para a deterioração das condições físicas e químicas do solo, nomeadamente, baixas relações C/N, baixo teor em matéria orgânica, baixo pH (Alves, 1989), elevado risco de compactação do solo e, conseqüentemente, más condições de traficabilidade das parcelas por alteração das condições de consistência do solo (Costa, 2004). Segundo Karayel e Ozmerzi (2008) o desempenho de distribuição dos semeadores em linhas pode ser avaliada nos planos horizontal e vertical, sendo que o plano vertical corresponde à distribuição em profundidade, a qual pode ser avaliada usando os valores da média, desvio padrão e CV da profundidade de sementeira. A influência da uniformidade da distribuição em profundidade da semente na produtividade da cultura de milho foi demonstrada por Liu *et al.* (2004) e considerada como mais determinante do que a distribuição horizontal (Karayel e Ozmerzi, 2008). No inverno a adesividade e plasticidade de solos de texturas finas e a sua tenacidade na ausência de humidade no verão pode condicionar o normal funcionamento dos órgãos controladores de profundidade dos semeadores, afetando a distribuição de semente no plano vertical. Assim e apesar dos semeadores de sementeira direta estarem preparados para trabalhar em solo não mobilizado, o desempenho dos seus órgãos sulcadores pode ser afetado pelas condições de heterogeneidade da resistência do solo à penetração. No que diz respeito aos diferentes semeadores de sementeira direta comercializados em Portugal, Carvalho (2001) classificou-os de acordo com o tipo de órgãos sulcadores e sua capacidade de lidar com diferentes condições físicas do solo, mas todos eles apresentam mecanismos de controlo de pressão passivos. Os dispositivos de controlo de profundidade mais comuns são a combinação de uma roda ou aro controlador de profundidade disposta lateralmente ao órgão sulcador, sendo este regulado por ação de uma mola e ou por um cilindro hidráulico. Sob estas condições, normalmente, as condições iniciais de calibração permanecem constantes independentemente de alterações das condições físicas do solo (textura, humidade ou resíduos à superfície). Em sistemas de preparação convencional do solo Neményi *et al.* (2006) demonstraram que a cartografia da resistência do solo à penetração pode ser uma ferramenta eficaz para demarcar zonas ou áreas onde as condições físicas do solo possam ser uma limitante à produtividade da parcela. Pelas suas características mediterrânicas de solo e clima, considerando os diferentes itinerários culturais de preparação do solo na implementação de culturas de milho e o tipo de semeadores utilizados na região, pretendeu-se com

este estudo nas campanhas de 2011 e 2012 avaliar em campo e sem interferir nas calibrações pretendidas pelo agricultor, a uniformidade e influência da distribuição vertical de semente pelos respetivos semeadores na variabilidade espacial da implantação da cultura.

Material e Métodos

Nos meses de Abril e Maio de 2011, em três propriedades agrícolas, Sociedade Agrícola do Pigeiro (coordenadas geográficas 38°36'29" N; 7°23'17,01" W), Herdade da Comenda (coordenadas geográficas 38°53'3735" N; 7°02'41" W) e Herdade das Lages (coordenadas geográficas 38°38'51" N; 7°46'55" W), procedeu-se à sementeira de milho (*Zea mays* L.) em sistema de mobilização convencional (MC), mobilização mínima (MM) e sementeira direta (SD). Segundo a classificação FAO (2001), os solos são do tipo Fluvisso (MC), Luvisso (SD) e Aluviosso (MM). Em 2012 procedeu-se a um novo ensaio em sementeira direta no Monte da Lobeira (coordenadas geográficas 38°47'17" N; 8°17'44" W), caracterizada por uma área homogénea de um Cambissolo. Os valores médios de textura, matéria orgânica, densidade aparente e conteúdo em humidade gravimétrica são apresentados no Quadro 1 com base em amostras de solo obtidas até aos 10 cm de profundidade.

Quadro 1 – Área e valores médios da percentagem de matéria orgânica, pH, textura, humidade gravimétrica do solo e densidade aparente das parcelas em estudo em 2011 e 2012 de acordo com o tipo de prática cultural, mobilização convencional (MC), mínima (MM) e sementeira direta (SD).

Ano	2011			2012
Itinerários	MC	MM	SD	SD
Área (ha)	1,4	0,4	1,1	2,5
M.O (%)	2,6	1,8	2,9	2,6
pH	8,1	6,5	6	6,1
Textura	franca	franca	pesada	pesada
H.G (%)	14,8	11	12,5	11,3
Dap	1,53	1,4	1,4	1,45

A textura foi determinada pela técnica do hidrómetro de Bouyoucos (1962), a humidade volumétrica segundo o protocolo descrito por Gardner (1986), a matéria orgânica pelo protocolo de Walkley e Black (1934), o pH pelo método do potenciómetro usando uma diluição de 1:2,5 de solo para água e o fósforo e

potássio assimilável pelo protocolo de Egner-Riehm (Riehm, 1958). A densidade aparente foi determinada com anéis de 50 mm de diâmetro pela relação do peso do solo seco a 105°C com a massa de água correspondente ao volume do anel. Em ambas as parcelas de sementeira direta, tanto em 2011 como em 2012, o milho foi semeado como monocultura, não sendo pastoreado o restolho, tendo a sementeira sido precedida de uma aplicação de herbicida sistêmico à base de glifosato. Em qualquer das parcelas em estudo a cultura foi instalada sob sistemas de rega por aspersão administrando-se à sementeira entre 7 e 8 mm de água por hectare. Os semeadores utilizados caracterizam-se por serem modelos rebocados, tendo para o efeito sido utilizados tratores de 80 kW de potência. O quadro 2 resume as características técnicas das máquinas utilizadas e respectivas calibrações de profundidade, velocidade de trabalho e densidade de plantação. Em 2011 com a anuência do agricultor testaram-se as 2 velocidades de trabalho indicadas, de acordo com a recomendação do fabricante do semeador (Semeato, 2003). No sistema de MC a sequência de operações de preparação do solo obedeceu a uma passagem de um *chisel* da marca Agrator, modelo CH100 de 13 braços a cerca de 30 cm de profundidade, uma passagem cruzada de grades de discos com uma grade da marca Galucho, modelo GLHR 32-26 e uma passagem com um roto terra da marca RAU, modelo RVP 40A. Em MM a preparação da cama de sementeira fez-se com uma passagem cruzada de uma grade de discos da marca Galucho, modelo A2CP 22-26. Considerando a área e as condições topográficas das parcelas em estudo, em 2011 e 2012 foram georreferenciados aleatoriamente em cada parcela, 14 e 30 pontos, (1 ponto por cada 1000 m²) respetivamente, tendo-se utilizado um equipamento de GPS da marca Magellan, modelo Mobile Mapper CX. Em cada

ponto avaliaram-se a distribuição vertical da semente, a resistência do solo à penetração, a percentagem de emergência (PE) e o tempo médio de emergência (TME) da cultura. A avaliação de resistência do solo à penetração fez-se no decorrer das operações de sementeira de acordo com a Norma da Sociedade Americana de Engenheiros Agrónomos para avaliação da resistência do solo à penetração (ASAE, 1999) com recurso a um penetrómetro de cone da marca Dickey John. Para cada ponto georreferenciado o valor obtido representa a média de 4 avaliações. A avaliação da distribuição vertical da semente pelos semeadores foi determinada pela profundidade de sementeira, avaliando-se o comprimento do mesocótilo das plântulas após emergência seguindo a metodologia proposta por Vamerali *et al.* (2006) e Neto *et al.* (2007). A TME da cultura e a PE foram determinados de acordo com as equações (1) e (2) propostas por Bilbro e Wanjura (1982):

$$TME = \frac{N1D1 + N2D2 + \dots + NnDn}{N1 + N2 + \dots + Nn} \quad (1)$$

$$PE = \left(\frac{n^\circ \text{ total de plantulas nascidas por metro linear}}{\text{numero de sementes distribuidas por metro linear}} \right) \times 100 \quad (2)$$

sendo N o número de plântulas nascidas e D o número de dias decorridos desde a data de sementeira. Em 2012 uma semana após a emergência da cultura foi aplicado um herbicida seletivo, e, por deteção remota, foram tiradas fotografias aéreas da parcela georreferenciada com recurso a um veículo não tripulado equipado com uma câmara fotográfica de radiação visível da marca Panasonic modelo Lumix DC Vario, com 10,1 Mpixel a 500 m de altitude e uma resolução espacial de 5 cm. Numa malha de 5m x 5m a percentagem de coberto vegetal foi avaliada de acordo com

Quadro 2 – Características técnicas dos semeadores utilizados e respetivas calibrações de profundidade, velocidade de trabalho e densidade de plantação.

Semeador/Ano ensaio	2011			2012	
	MC	MM	SD	SD	
Marca/modelo	Rau/Maxem	Semeato SPE	Semeato SSE		
Nº de linhas de sementeira	4 em pantógrafo				
Distancia entre-linha (m)	0,75				
Tipo de órgãos de enterramento	disco simples		disco duplo desfasado		
Sistema controlo profundidade	roda lateral limitadora e tensão mecânica de mola de compensação				
Calibração profundidade (mm)	30			50	
Velocidade trabalho (km/h)	4	4	4	6	4
Densidade sementeira (pl/ha)	85000			80000	

a técnica de Meyer *et al.* (1999). A figura 1 mostra as operações de sementeira e as etapas de avaliação de resistência do solo à penetração, avaliação da distribuição vertical de semente por determinação do mesocótilo e pormenor do trem de sementeira.

Para descrever os parâmetros em estudo utilizaram-se os valores da média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e coeficiente de correlação. Para avaliar a influência da resistência do solo à penetração e dos sistemas de preparação do solo na distribuição vertical de semente procedeu-se a uma ANOVA e à comparação de médias pelo teste de Tukey recorrendo-se ao programa informático Statistica 6.0 (StatSoft®). Usando a técnica da distância

inversa ponderada (IDW) procedeu-se à interpolação dos dados obtidos e construíram-se os respetivos mapas de variabilidade espacial com base no programa informático ArcView, version 9.0.

Resultados e Discussão

Relativamente às parcelas em ensaio em 2011, a Figura 2 apresenta a relação existente entre a distribuição vertical da semente dada pela profundidade de sementeira obtida nos diferentes sistemas de preparação do solo e a resistência do solo à penetração. Independentemente do sistema de preparação do



Figura 1 – Operações de sementeira em MC na herdade do Pigeiro (figura superior à esquerda), MM na herdade da Comenda (figura superior ao centro) e SD na herdade das Lages (figura superior à direita) e avaliação da resistência do solo à penetração (figura inferior à esquerda), avaliação da distribuição vertical de semente (figura inferior ao centro) e pormenor do trem de sementeira (figura inferior à direita).

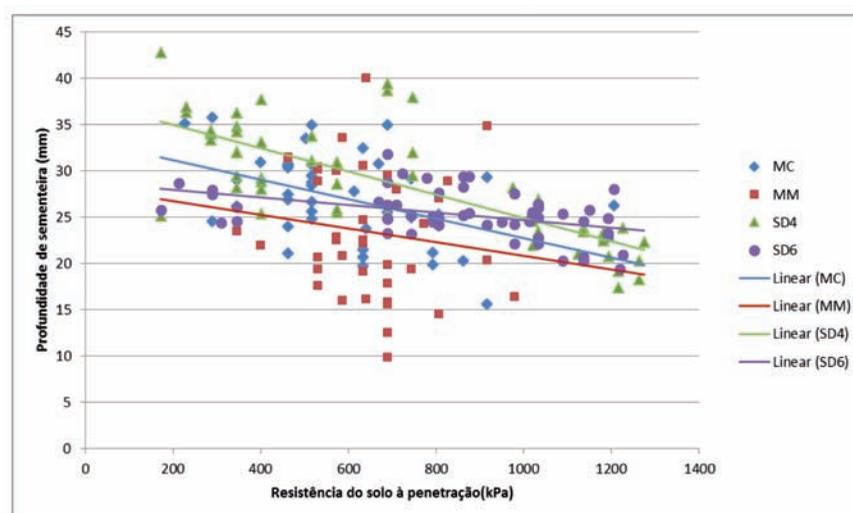


Figura 2 – Relação da distribuição vertical de semente dada pela profundidade de sementeira (mm) nos diferentes sistemas de preparação do solo com a resistência do solo à penetração (kPa).

solo, verificou-se em todas as situações uma correlação negativa entre os parâmetros em estudo. A maior correlação observada ($r=-0,77$) no sistema SD a 4 km h^{-1} pode explicar-se devido à correlação entre o teor de humidade do solo e a respetiva textura (Garcia *et al.*, 1999; Canakci *et al.*, 2009), sendo que Vaz *et al.* (2011) também concluíram que o aumento à resistência de penetração se fazia com o aumento do teor do solo em argila, o que acontece na parcela deste ensaio. Da mesma forma, os mapas de variabilidade espacial apresentados na Figura 3 mostram que as áreas de deposição de semente mais à superfície do solo correspondem a zonas de maior resistência do solo à penetração indo ao encontro do

defendido por Ozmerzi *et al.* (2002) acerca do efeito de impedância do solo na homogeneidade de distribuição de semente em profundidade.

Comparando as classes de resistência do solo à penetração acima dos 1033 kPa, de 689 a 1033 kPa e abaixo dos 689 kPa, verificaram-se diferenças significativas com a profundidade de sementeira (Quadro 3).

Apesar de agronomicamente os valores médios de profundidade de sementeira serem admissíveis como previsto por Fancelli (2000), a distribuição vertical de semente pelos semeadores foi afetada significativamente pelo sistema de preparação do solo, nomeadamente quando comparado o sistema de MC com o de SD a 4 km h^{-1} (Quadro 4).

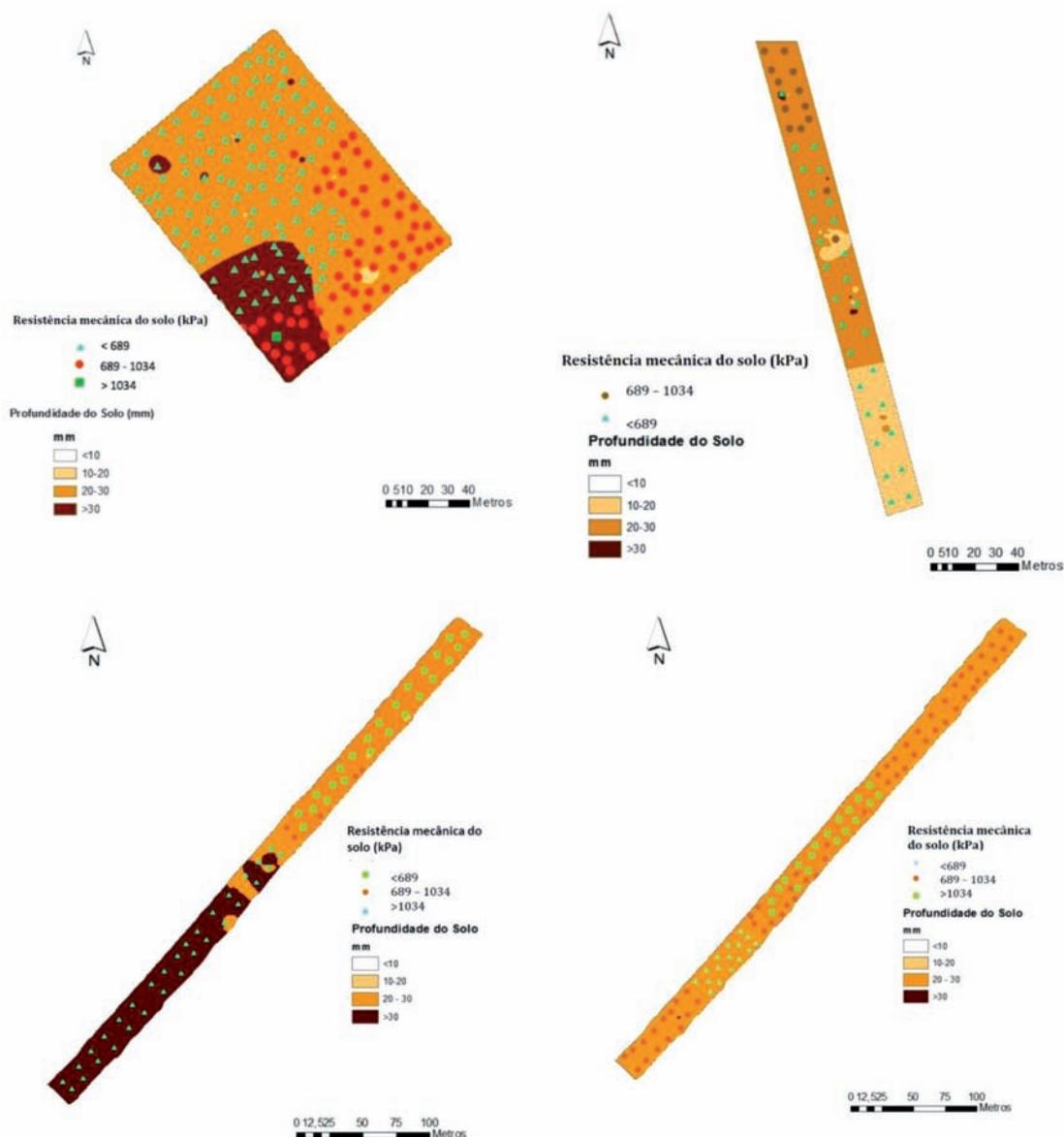


Figura 3 – Mapas da variabilidade espacial da distribuição vertical de semente dada pela profundidade de sementeira (mm) com a resistência do solo à penetração (kPa) no ensaio de 2011 para as diferentes práticas culturais, MC (figura em cima à esquerda), MM (figura em cima à direita), SD a 4 km h^{-1} (figura em baixo à esquerda) e SD a 6 km h^{-1} (figura em baixo à direita).

Quadro 3 – Influência da resistência do solo à penetração na distribuição vertical de semente no ensaio de 2011 independentemente do itinerário cultural.

Resistência (kPa)	> 1033 n = 37	689 - 1033 n = 69	< 689 n = 88	Significância
Profundidade (mm)	22,95 ± 2,54 ^a	25,19 ± 5,6 ^a	28,35 ± 5,39 ^b	***

Nota:*** p <0,001.Valores seguidas da mesma letra não são significativas pelo teste de comparação de médias de Tukey.

Ainda assim a maior homogeneidade de distribuição vertical observou-se na mesma parcela quando a velocidade de trabalho passou de 4 para 6 km h⁻¹, possivelmente devido ao maior efeito de trepidação da superfície do solo na distribuição do semeador, derivado de um mais elevado CV da resistência do solo na faixa da parcela em que o semeador se deslocou a 4 km h⁻¹. Este valor é concordante com um maior valor médio da PE nas parcelas de SD concordando com os resultados de Silva *et al.* (2000) em avaliações idênticas nomeadamente quando comparadas estas velocidades de deslocamento com outras superiores. O Quadro 5 apresenta os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação da resistência do solo à penetração, da profundidade de sementeira, do TME e da PE da cultura nas parcelas do conjunto das parcelas em ensaio em 2011 e 2012.

Comparando os diferentes itinerários de preparação do solo, contrariamente a Tolon - Becerra *et al.* (2011) que observaram menor número de dias para a emergência das plântulas de milho em sistemas de mobilização convencional quando comparados com a sementeira direta, neste ensaio o menor TME verificou-se nos sistemas de MC e MM. Os maiores CV observados, de 28,8 e 39,6% na profundidade de sementeira nas parcelas de MM e SD em 2012, respetivamente, sugerem por um lado resultados idênticos aos encontrados por Neto *et al.* (2007), devidos à inadequação do semeador às condições de preparação do solo. Neste ensaio a utilização de um semeador de sementeira direta em solo mobilizado e a incorreta regulação dos mecanismos controladores de profundidade no caso da parcela de SD em 2012 considerando os valores de resistência do solo

Quadro 4 – Influência do itinerário cultural na profundidade de sementeira.

Itinerário cultural	MC n = 42	MM n = 40	SD4 n = 56	SD6 N = 56	Significância
Profundidade (mm)	27,01 ± 4,74 ab	23,43 ± 6,75 a	28,49 ± 6,07 c	25,27 ± 2,56 ab	***

Nota:*** p <0,001.Valores seguidas da mesma letra não são significativas pelo teste de comparação de médias de Tukey

Quadro 5 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação da resistência do solo à penetração, da profundidade de sementeira, do tempo médio de emergência (TME) e da percentagem de emergência (PE) para o conjunto das parcelas em estudo.

Parâmetros	Resistencia (kPa)		Profundidade (mm)		TME (dias)		PE (%)		
Velocidade	$\bar{X} \pm dp$	CV	$\bar{X} \pm dp$	CV	$\bar{X} \pm dp$	CV	$\bar{X} \pm dp$	CV	
(kmh ¹)									
2011MC	4	642,66±207,11	32,22	27,01±4,74	17,5	6,04±0,88	14,56	78,27±9,90	12,64
2011MM	4	619,14±149,20	24,08	23,43±6,75	28,8	6,77±0,91	13,29	70,93±12,78	18,01
2011SD	4	713,59±371,92	52,12	28,49±6,07	21,25	9,78±1,40	15,18	61,83±13,77	22,28
2011SD	6	852,14±273,53	32,1	25,27±2,56	10,13	9,33±0,76	8,23	68,75±11,67	16,9
2012SD	4	1286,33±191,47	18,52	11,71±3,96	39,6	7,60±1,57	18,11	61,49±13,43	21,85

dp – desvio padrão; CV – Coeficiente de variação

à penetração, parecem estar na origem da elevada irregularidade das profundidades de sementeira observada. Dadas as características de ambas as parcelas é possível que uma maior dotação de rega à data de sementeira tivesse proporcionado um melhor desempenho do semeador ou que o mesmo estivesse equipado com dispositivos dinâmicos de controlo de profundidade, por exemplo pela adoção de sensores de medição da humidade do solo. Comparando os valores de SD a 4 km h^{-1} , o Quadro 6 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson para os parâmetros de profundidade de sementeira, TME e PE.

Quadro 6 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros profundidade, tempo médio de emergência (TME) e percentagem de emergência (PE) das parcelas em sementeira direta, em 2011 e 2012 para a velocidade de 4 km^{-1} .

Parâmetros	Profundidade	TME	PE
Profundidade	1	0,723***	0,196*
TME		1	0,262**
PE			1

Os valores de correlação apresentam-se para os níveis de significância de * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$

Da análise dos resultados verificou-se que a distribuição vertical da semente dada pela profundidade de sementeira não só apresentou uma correlação positiva com o TME e a PE como determinou diferenças significativas nestes parâmetros. Os mapas de variabilidade espacial do TME, PE da cultura, profundidade de sementeira, bem como a imagem de radiação visível da cultura pós emergência em 2012 no Monte da Lobeira, apresentam-se na Figura 4.

Tal como Abrecht (1989) e Ozmerzi *et al.* (2002), ao estudarem num semeador de sementeira direta a relação entre a profundidade de sementeira e a pressão das rodas compressoras da linha de sementeira na emergência e desenvolvimento de diferentes culturas, também neste ensaio, apesar de uma distribuição vertical média mais superficial de semente em torno dos 15 mm, se verificou que maiores profundidades (22 mm) estavam relacionadas com maior número de dias de emergência e maiores taxas de nascimentos: 9 dias e 87%, respetivamente.

Conclusões

O custo das operações mecanizadas de mobilização do solo e a importância dos sistemas de agri-

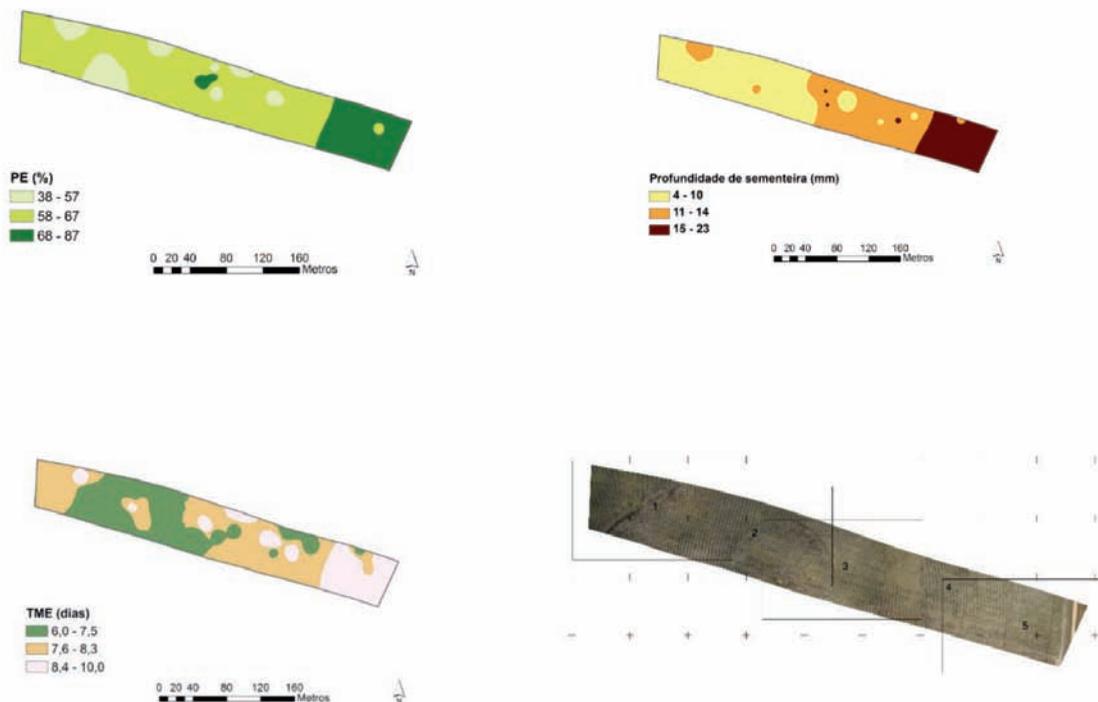


Figura 4 – Mapas de variabilidade espacial da percentagem de emergência da cultura (figura em cima à esquerda), profundidade de sementeira (figura em cima à direita), tempo médio de emergência (figura em baixo à esquerda) e imagem de radiação visível da cultura pós emergência (figura em baixo à direita).

cultura de conservação, nomeadamente a técnica de sementeira direta na melhoria da qualidade do solo conduz à sua adoção pelos agricultores, especialmente em zonas de risco de erosão como é a região Mediterrânica do Alentejo. Apesar da conceção dos semeadores de sementeira direta prever o seu trabalho em solo não mobilizado, a heterogeneidade das condições edafoclimáticas cria dificuldades no desempenho das máquinas, as quais podem ser monitorizadas por tecnologias de agricultura de precisão. As condições físicas do solo afetam a distribuição vertical da semente pelos semeadores. Em qualquer das parcelas em estudo verificou-se uma correlação negativa entre a profundidade de sementeira e a resistência do solo à penetração, sendo que o aumento de profundidade de sementeira se mostrou positivamente correlacionado com o TME e a PE da cultura. O ensaio de 2011, na parcela submetida a SD parece indicar que o aumento da velocidade de trabalho de 4 para 6 km h⁻¹ proporciona uma maior uniformidade da distribuição vertical do seeador, demonstrado por um menor CV (10,13%). No conjunto das observações realizadas, elevados CV sugerem não só a necessidade de uma melhor atenção por parte dos operadores à calibração da profundidade de sementeira ou à melhoria do próprio sistema de calibração dos semeadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos agricultores proprietários das explorações agrícolas onde os ensaios decorreram e à Area400 (<http://www.area400.com/>) pelos serviços de deteção remota.

Referências bibliográficas

Abrecht, D.G. (1989) - No till crop establishment on red earth soils at Katherine, Northern Territory: effect of sowing depth and firming wheel pressure on the establishment of cowpea, mung bean, soybean and maize. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 29, n. 3, p. 397-402.

Agencia Portuguesa do Ambiente. Atlas do Ambiente (2005). [citado 2014-01-10]. Disponível em: <<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>>.

Alves, J. A. (1989) - *Fertilidade de alguns solos e problemas dela decorrentes*. Lisboa, INIA, 82 p.

ASAE (1999). Soil Cone Penetrometer. ASAE Standard S313.3. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.

Basso, B.; Sartori, L.; Bertocco, M.; Cammarano, D.; Martin, E. e Grace, P. (2011) - Economic and environmental evaluation of site-specific tillage in a maize crop in NE Italy. *European Journal of Agronomy*, vol. 35, p. 83-82.

Bilbro, J.D. e Wanjura, D.F. (1982) - Soil crusts and cotton emergence relationships. *Trans. ASAE*, vol.25, n. 4, p. 1484-1487.

Borin, M.; Menini, C. e Sartori L. (1997) - Effects of Tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil & Tillage Research*, vol. 40, n. 3-4, p. 209-226.

Bouyoucos, G.J. (1962) - Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, vol. 54, p. 464-465.

Canakci, M.; Karayel, D.; Topakci, M. e Koc, A. (2009) - Performance of a no-till seeder under dry and wet soil conditions. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 25, n. 4, p. 459-465.

Carvalho, M. (2001) - *Manual de Divulgação de Sementeira Direta e Técnicas de Mobilização Mínima*. Lisboa, Direção-Geral de Desenvolvimento Rural, 55 p.

Carvalho, M. e Basch, G. (1994) - Experiences with direct drilling in Portugal. In: *Proceedings of the EC - Workshop I*, Giessen, Germany, p. 105- 110.

Carvalho, M. e Basch, G. (1999) - Efficient use of water in the southern region of Portugal: agronomic aspects. *Agricultural Water Management*, vol. 40, n. 2-3, p. 275-281.

Conceição L. (2013) - Recolha de dados sobre sementeira direta no distrito de Évora, comunicação pessoal.

Costa, J.B. (2004) - *Caracterização e constituição do solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, Lisboa, Portugal, 528 p.

Derpsch, R.; Friedrich, T.; Kassam, A. e Li, H.W. (2010) - Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 3, n. 1, p.1-26.

EISA, 2009 - A common codex for integrated farming. European Initiative for Sustainable Development in Agriculture [em linha], 8 p. [citado 2013-12-20]. Disponível em: < <http://ec.europa.eu/environment/archives/ppps/pdf/ilubrochure.pdf> >

Fancelli, A.L. (2000) - Crop physiology and basic aspects of management for high yield. In: Santini, I. e Fancelli, A.L. (Ed.) - *Maize crop: management strategies for the south region*. Guarapuava, Fundação Agrária de Pesquisa Agro-Pecuária, p. 103-106.

FAO (2001) - *Lecture notes on the major soils of the world*. Rome, FAO, 338 p.

FAO Agriculture and Consumer Protection Department (2013) - Conservation Agriculture. [citado

- 2013-12-20]. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>>
- Garcia, I.R.; Aday, O. e Sanchez, M. (1999) - Comparison of soil resistance to penetration and soil moisture content of a natural and modified Cambisol. *Farmer Center*, vol. 3, p.57-61.
- Gardner, W.H. (1986) - Water content. In: Klute, A.; Campbell, G.S.; Jackson, R.D.; Mortland, M.M. e Nielsen, D.R. (Ed.) - *Methods of Soil Analyses. Part.1. Physical, Mineralogical Methods*, p. 493-541.
- Govaerts, B.; Sayre, K.D.; Goudeseune, B.; De Corte, P. e Lichter K. (2009) - Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research*, vol. 103, n. 2, p. 222-230.
- Karayel, D. e Ozmerzi, A. (2008) - Evaluation of three depth-control components on seed placement accuracy and emergence for a precision planter. *American Society of Agricultural and Biologic Engineers*, vol. 24, n. 3, p. 271-276.
- Kirkby, M.J.; Jones, R.J.A.; Irvine, B.J.; Gobin, A.; Govers, G.; Cerdan, O.; Van Rompaey, A.J.J.; Le Bissonnais, Y.; Daroussin, J.; King, D.; Montanarella, L.; Grimm, M.; Vieillefont, V; Puigdefabregas, J; Boer, M; Kosmas, C; Yassoglou, N; Tsara, M; Mantel, S. e Van Lynden, G. (2004) Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). *European Soil Bureau Research Report No.16*, EUR 21176.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B. e Rubel, F. (2006) - World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15, n. 3, p. 259-263.
- Liu, W.; Tollenar, M.; Stewart, G. e Deen, W. (2004) - Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Science*, vol. 44, n. 3, p. 847-854.
- Madejón, E.; Murillo, J.M.; Moreno, F.; López, M.V.; Arrue, J.L.; Alvaro-Fuentes, J. e Cantero, C. (2009) - Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil & Tillage Research*, vol. 105, n. 1, p. 55-62.
- Meyer, G.E.; Hindman, T.W. e Lakshmi, K. (1999) - Machine vision detection parameters for plant species identification. In: G.E. Meyer and J.A. DeShazer (Eds.) *Precision Agriculture and Biological Quality. Proceedings of SPIE*, Bellingham, WA vol. 3543, p. 327-335.
- Neményi, M.; Mesterhazi, P.A. e Milics, G. (2006) - An Application of Tillage Force Mapping as a Cropping Management Tool. *Biosystems Engineering*, vol. 94, n. 3, p. 351 - 357.
- Neto, P.H.W.; Schimandei, A.; Gimenez, L.M.; Colet, M.J. e Garbui, P.W. (2007) - Profundidade da deposição de semente de milho na região dos Campos Gerais, Paraná. *Eng. Agric.*, vol. 27, n. 3, p. 782-786
- Özmerzi, A.; Karayel, D. e Topacki, M. (2002) - Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. *Biosystems Engineering*, vol. 82, n. 2, p. 227-230.
- Piorr, H.P (2011) - Experiences with the evaluation of agricultural practices for EU Agri-Environmental Indicators. OCDE, p. 9 - 12.
- Riehm, H. (1958) - Die amoniumlaktatessigsäure - Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in Karbonathatigen Boden. - *Agrochimica*, vol. III, p. 47-65.
- Sá, J.C.M. (2004) - Adubação fosfatada no sistema de plantio direto. In: *Proceedings of the Conference on Phosphorus in Brazilian Agriculture*, Anais (ed.). p. 201-220.
- Semeato (2003) - Manual de operador e catálogo de peças SPE06. Semeato Industria e comércio, Passo Fundo, Brasil, 52 p.
- Silva, J. G.; Kluthcouski, J. e Silveira, P. M. (2000) - Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. *Sci. agric.*, vol.57, n.1, p. 7-12.
- Soane, B.D.; Ball, B.C.; Arvidsson, J.; Basch, G.; Moreno, F. e Roger-Estrade, J. (2012) - No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research*, vol. 118, n. 1, p. 66-87.
- Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Varnamkhasati, M.G., Rahimizadeh, R., Karimi, M., (2009) - Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, vol. 34, p. 41-45.
- Tolon-Becerra, A.; Tourn, M.; Botta, G.F. e Lastra-Bravo, X. (2011) - Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. *Soil & Tillage Research*, vol. 117, n. 1, p. 184 - 190.
- Uri, N.D. (2000) - Perceptions on the use of no-till farming in production agriculture in the United States: an analysis of survey results. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 77, n. 3, p. 263-266.
- Ussiri, D.A.N.; Lal, R. e Jarecki, M.K. (2009) - Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil & Tillage Research*, vol. 104, n. 2, p. 247-255.

- Ussiri, D.A.N. e Lal, R. (2009). Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. *Soil & Tillage Research*, vol. 104, n. 1, p. 39-47.
- Valero, C; Navas, L.M.; González, F.; Gómez, J.; Ruiz, G.; Barreiro, P.; Andujar, D.; Diezma, B.; Báguena, E. e IZARD, M. (2010) - *Ahorro y eficiencia energética derivados en nuevas tecnologías de siembra*. In: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura de Precisión. Madrid. vol. 16, p. 57-63. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_AEE_Agr_Precision_AGR16_A2010_69054ba0.pdf
- Vamerali, T.; Bertocco M. e Sartori L. (2006) - Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays* L.): A comparison with double-disk opener. *Soil & Tillage Research*, vol. 89, n. 2, p. 196-209.
- Vaz, C.; Manieri, J.; Isabella M. e Tuller, M. (2011) - Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. *Geoderma*, vol. 166, n. 1, p. 92-101.
- Walkley, A. e Black, I.A. (1934) - An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, vol. 37, n. 1, p. 29-38.