

Gestão diferenciada das pastagens baseada na monitorização da condutividade eléctrica aparente do solo

Site-specific management of pastures based on soil apparent electrical conductivity survey

João Serrano^{1*}, Shakib Shahidian¹ e José Marques da Silva^{1,2}

¹ICAAM, Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, P.O. Box 94, 7002-554 Évora, Portugal

²Agroinsider Lda. (spin-off da Universidade de Évora), PITE, R. Circular Norte, NERE, Sala 18, 7005-841 Évora, Portugal

(*E-mail: jmrs@uevora.pt)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA18163>

Recebido/received: 2018.06.01

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.07.07

Aceite/accepted: 2018.07.09

RESUMO

A fertilização é o principal custo de manutenção das pastagens permanentes. A sua utilização incorrecta resulta em importantes perdas económicas directas e em poluição ambiental. Normalmente os solos utilizados para produção de pastagens e para a produção animal na região Sul de Portugal apresentam elevada variabilidade espacial. Consequentemente, é necessário determinar os padrões espaciais das principais propriedades do solo como primeira etapa na implementação de estratégias de gestão diferenciada. Contudo, para este efeito deverá ser usada uma técnica que não seja muito cara uma vez que a margem de lucro deste tipo de explorações é muito baixa, sendo necessário um método económico, eficaz e confiável para identificar zonas com potencial semelhante de gestão. A utilização da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a), por integrar as principais propriedades que afectam a produtividade das culturas (nomeadamente, a textura, a matéria orgânica e a capacidade de troca catiónica do solo), constitui uma das mais apropriadas variáveis do solo para caracterizar zonas de gestão de uma parcela. Neste estudo foram usadas as medições realizadas em duas parcelas de pastagens permanentes por um sensor de contacto Veris 2000 XA e amostras de solo recolhidas na camada superficial (0-0,30m). O objectivo foi determinar o padrão espacial de algumas propriedades do solo, tendo por base as medições da CE_a e amostragem inteligente do solo como informação auxiliar. Foram analisadas as correlações entre a CE_a e algumas propriedades importantes do solo e foram produzidos os respectivos mapas para visualizar a variabilidade espacial das propriedades do solo. Finalmente, foram delimitadas zonas homogéneas para efeitos de gestão diferenciada das parcelas. Os resultados mostram que a CE_a pode ser considerada uma informação de apoio importante com o objectivo de obter dados que permitam a implementação da gestão diferenciada (amostragem inteligente do solo ou fertilização diferenciada), em solos de pastagens permanentes, contribuindo para a sustentabilidade destes sistemas.

Palavras-chave: pastagens permanentes, condutividade eléctrica do solo, zonas de gestão, fertilização diferenciada, VRT

ABSTRACT

Fertilization is the main cost of maintenance of permanent pastures. Its incorrect use results in important direct economic losses and in environmental pollution. Usually, soils utilised for pasture and livestock production in Southern region of Portugal have high spatial variability. Consequently, it is necessary to determine the spatial patterns of the main soil properties as the first stage in implementing site-specific management strategies. However, this has to be performed using an inexpensive technique because the profitability in this type of farms are very low, so owners need an economical, effective, and reliable method to know which zones have similar potential management. The use of soil apparent electrical conductivity (EC_a), as it integrates many soil properties affecting crop productivity (for instance, soil texture, organic matter and cation exchange capacity), constitutes one of the most appropriate soil variables to characterize the management zones of a field. In the present study EC_a measurements obtained with a Veris 2000 XA contact-type sensor and soil samples taken at 0-0.30m depth in two permanent

pastures were used. The aim was to assess the spatial pattern of some soil properties, based on EC_a measurements as ancillary information and a guided soil sampling. Relationships between EC_a and some important soil properties were analyzed and, later, some maps were produced to visualize the spatial variability of the soil properties. Finally, homogeneous zones were delimited for attaining a site-specific management of the fields. Results showed that EC_a can be considered as support information with the aim of obtaining data to be used to implement site-specific management (intelligent soil sampling or differential and optimal fertilization), in soils with permanent pastures and to contribute to the increased sustainability of these systems.

Keywords: permanent pastures, soil electrical conductivity, management zones, differential fertilization, VRT

INTRODUÇÃO

A região Sul de Portugal é caracterizada por um ecossistema agro-silvo-pastoril único, chamado montado. Apesar de ser utilizado para produzir uma grande variedade de produtos, é essencialmente utilizado para o pastoreio. A componente arbórea é constituída fundamentalmente por azinheiras (*Quercus ilex* ssp. *rotundifolia* Lam.) e sobreiros (*Quercus suber* L.), com vegetação sub-arbórea de arbustos e pastagens que suportam a produção animal (Pinto-Correia *et al.*, 2011). Estes sistemas têm uma grande importância económica e social pela extensa área que ocupam e pela capacidade de fixação da população rural. No entanto, estes ecossistemas encontram-se em risco, com uma importante redução da área nos últimos anos (Pinto-Correia *et al.*, 2011). É, por isso, muito importante reconhecer as limitações dos principais componentes do sistema e as suas interações (David *et al.*, 2013).

O conhecimento da dinâmica do sistema solo-pastagem é essencial para a sua gestão sustentável. A fertilidade do solo é o principal factor que determina a qualidade e a produtividade da pastagem. O montado ocupa áreas significativas com solos ácidos, delgados e rochosos, degradados em resultado da erosão e da perda de nutrientes (Serrano *et al.*, 2011). Apesar de tudo, devido à natureza da rocha mãe originária, estes solos são relativamente ricos em potássio. Para além disso, é prática comum a utilização de pastagens biodiversas, que incluem leguminosas, tendo estas a capacidade de fixar o azoto atmosférico e de incorporá-lo no solo. Por isso, o processo recomendado para recuperar as pastagens na região Mediterrânica consiste no aumento da fertilidade do solo pela aplicação de fertilizantes fosfatados (Daniels *et al.*, 2001). A eficácia agronómica destes fertilizantes é principalmente influenciada pela reacção do solo e pela subsequente

disponibilidade de fósforo. Esta por sua vez é afectada por uma combinação de propriedades do solo (nomeadamente, a fertilidade e a acidez), pelo que, a correcção da acidez do solo é outra das principais preocupações dos agricultores nesta região.

Tradicionalmente os fertilizantes ou os correctivos calcários são aplicados de forma homogénea. A considerável variabilidade no nível de nutrientes em muitos solos agrícolas leva a que aplicações uniformes se traduzam em aplicações excessivas em algumas áreas e insuficientes noutras (Mallarino e Wittry, 2004). No entanto, relativamente pouco se sabe sobre o grau de variabilidade espacial do solo em pastagens, pelo que, a desejável gestão deste ecossistema em termos de fertilização/correcção do solo ou da intensidade do pastoreio, justifica a identificação de áreas com características permanentes semelhantes (Schellberg *et al.*, 2008), designadas zonas de gestão diferenciada para racionalizar a utilização de recursos (Serrano *et al.*, 2010). O delineamento de zonas de gestão diferenciada e a respectiva tomada de decisão requer a recolha e análise de informação de diferentes locais dentro da parcela. A amostragem intensiva em grelha com malha apertada é geralmente vista como a forma mais rigorosa de avaliar e cartografar a variabilidade espacial de um campo em detalhe (Brevik *et al.*, 2006; Serrano *et al.*, 2014). Contudo, a amostragem tradicional do solo e o processamento laboratorial subsequente são demorados e com custos muito elevados, não viáveis à escala da exploração agrícola numa perspectiva de gestão diferenciada uma vez que requerem um grande número de amostras de solo para garantir uma boa representação da fertilidade e das propriedades do solo (Moral *et al.*, 2010; Serrano *et al.*, 2017).

O maior foco da investigação ao nível da gestão diferenciada tem sido, por isso, no desenvolvimento

de tecnologias para aquisição de dados espacialmente referenciados das propriedades do solo e das culturas. Nesta perspectiva e apesar de estarem disponíveis várias técnicas, o levantamento geoespacial da CE_a do solo, combinada com a utilização de sistemas globais de navegação por satélite (GNSS, *Global Navigation Satellite Systems*) e sistemas de informação geográfica (SIG), pode ser muito útil para monitorizar e caracterizar o padrão espacial das propriedades do solo (Sudduth *et al.*, 2003). A CE_a pode ser medida praticamente em contínuo, encontrando-se relacionada com várias propriedades físicas e químicas dos solos (Sudduth *et al.*, 2003). Para além da correlação com propriedades do solo, a CE_a é uma técnica sensorial que permite cartografar digitalmente o solo e com potencial para identificar zonas de amostragem e

para delinear e implementar estratégias de gestão diferenciada (Corwin e Lesch, 2005; Moral *et al.*, 2010; Peralta e Costa, 2013), funcionando como uma ferramenta chave no apoio à tomada de decisão e na gestão de balanços de nutrientes no solo (Serrano *et al.*, 2014).

Esta metodologia (Figura 1) pode melhorar a caracterização do padrão espacial das propriedades edáficas que influenciam o teor de nutrientes no solo, que, por sua vez, podem ser usadas para definir zonas de gestão diferenciada (Moral *et al.*, 2010) e valorizar o processo de apoio à tomada de decisão. Melhor tomada de decisão oferece uma ampla variedade de benefícios económicos, ambientais, energéticos e sociais (Moral *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo é expectável que a próxima

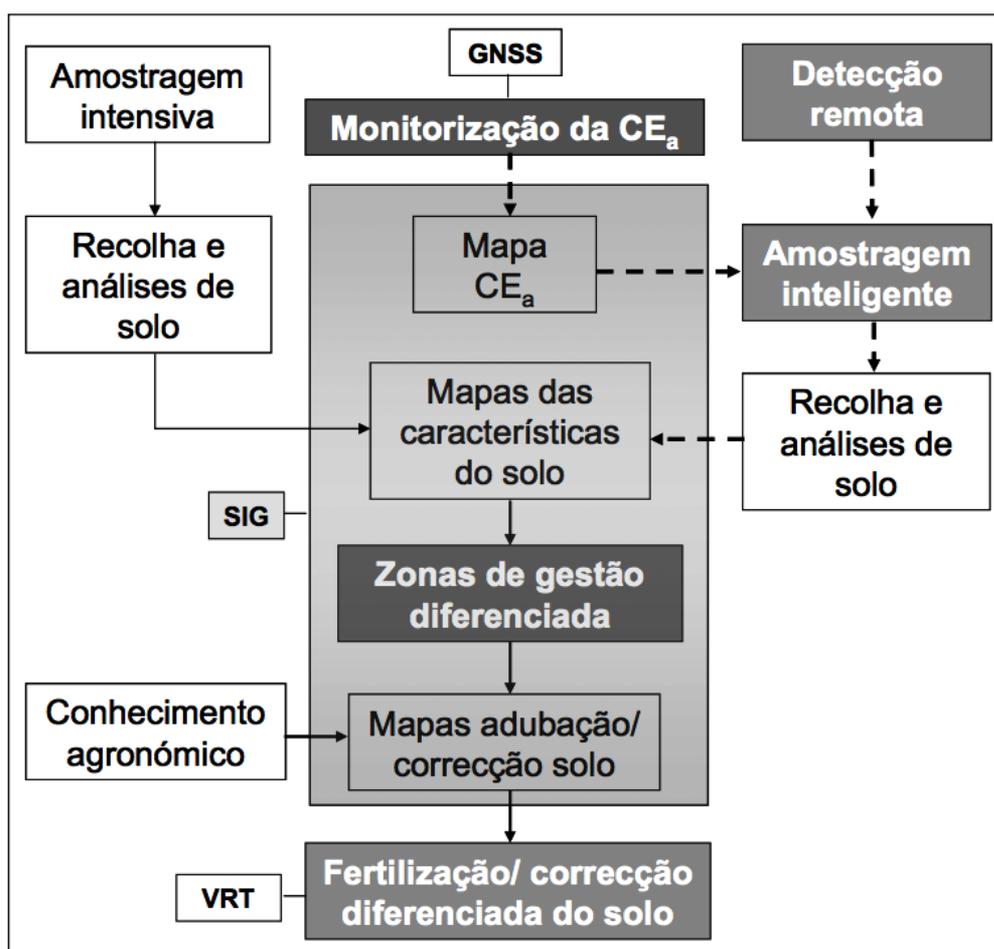


Figura 1 - Perspectiva de amostragem intensiva versus amostragem inteligente para a gestão diferenciada de pastagens Mediterrânicas no ecossistema montado. (CE_a - Condutividade eléctrica aparente do solo; GNSS- Global navigation satellite systems; SIG- Sistemas de informação geográfica; VRT- Variable rate technology).

década traga também uma maior contribuição da detecção remota na monitorização das culturas, através de vários índices obtidos a partir de imagens de satélite de alta resolução. Esta poderá ser uma ferramenta promissora e não destrutiva para guiar a amostragem do solo e da pastagem e definir zonas de gestão diferenciada (Figura 1).

O objectivo deste estudo foi avaliar o padrão espacial de algumas propriedades do solo, baseada em medições da CE_a para definir zonas de gestão diferenciada e orientar a amostragem inteligente do solo e para apoiar a fertilização/correção diferencial do solo ou o pastoreio animal.

MATERIAL E MÉTODOS

Características dos locais de ensaio

Os ensaios foram realizados em dois campos experimentais, cujas características são apresentadas no Quadro 1. Estas parcelas, situadas no distrito de Évora, encontram-se integradas no ecossistema montado, onde predominam azinheiras como vegetação arbórea e pastagens biodiversas (constituídas por gramíneas, leguminosas e outras espécies), pastoreadas por ovinos em regime rotacional ou em regime permanente e com diferentes encabeçamentos. O solo da parcela da “Revilheira” é classificado como Leptic Luvisolo (FAO, 2006), cujo perfil é desenvolvido através de uma

diferenciação pedogénica dos teores de argila. A textura do solo na camada superficial é franco-argilosa e o relevo é suave (Serrano *et al.*, 2011). O solo da parcela da “Mitra” é classificado como Cambissolo (FAO, 2006), pouco fértil, normalmente destinado a ocupação extensiva com pastagens ou com florestas. A textura da camada do superficial do solo é franco-arenosa e o relevo é ondulado (Serrano *et al.*, 2017).

O clima Mediterrânico da região é caracterizado por Verões secos e Invernos frios. A temperatura média mensal oscila entre os 8 e os 26 °C. As temperaturas mínimas atingem valores próximos de 0 °C entre Dezembro e Fevereiro e a precipitação anual situa-se entre 400 e 600 mm, concentrada principalmente entre Outubro e Março, sendo praticamente inexistente no Verão (Serrano *et al.*, 2017).

Amostragem e análises do solo

A recolha de amostras de solo decorreu em Março de 2013 (“Revilheira”) e em Maio de 2015 (“Mitra”). Na parcela da “Revilheira” as amostras foram colhidas de acordo com uma grelha regular e intensiva com 28 m de lado (Figura 2). Na parcela da “Mitra” as amostras de solo foram colhidas de acordo com o mapa de CE_a . Os pontos para colheita de amostras em cada parcela foram geo-referenciados com um receptor GPS (*Global Positioning System*) “Trimble 4700 GPS-RTK”. A colheita de

Quadro 1 - Características das duas parcelas experimentais utilizadas neste estudo

| Parcela (ano) | “Revilheira” (2013) | “Mitra” (2015) |
|--|--|--|
| Coordenadas | 38°27,9’N; 7°25,8’W | 38°32,2’N; 8°01,1’W |
| Área | 6,0 ha | 2,3 ha |
| Número de pontos de amostragem do solo | 76 | 10 |
| Classificação do solo (FAO, 2006) | Leptic Luvisolo | Cambissolo |
| Tipo de pastagem | Biodiversa (gramíneas, leguminosas e outras) | Biodiversa (gramíneas, leguminosas e outras) |
| Tipo de árvores | Azinheiras (1 árvore/ha) | Azinheiras (8 árvores/ha) |
| Espécies animais /sistema de pastoreio (encabeçamento) | Ovinos/ pastoreio rotativo (24 animais/ha) | Ovinos/ pastoreio permanente (8 animais/ha) |

amostras foi realizada com uma sonda meia-cana na camada superficial de solo (0–0,30 m). Cada amostra compósita resultou de cinco sub-amostras, uma retirada no centro das coordenadas e as outras quatro, em cruz, a cerca de 3 m do ponto central. As amostras de solo foram secas ao ar e analisadas em laboratório. O solo foi caracterizado em termos de textura, pH, teor de matéria orgânica (MO) e de fósforo (P_2O_5). A distribuição granulométrica (areia, limo e argila) foi determinada num sedimentógrafo (Sedigraph 5100, fabricado pela Micromeritics), depois de passar os componentes finos através de um crivo de 2 mm. O pH foi medido pelo método potenciométrico numa solução 1:2,5 (solo: água). A MO foi medida por combustão com dióxido de carbono utilizando a detecção por infravermelhos. O fósforo foi extraído pelo método de Egner–Riehm e medido pelo método colorimétrico.

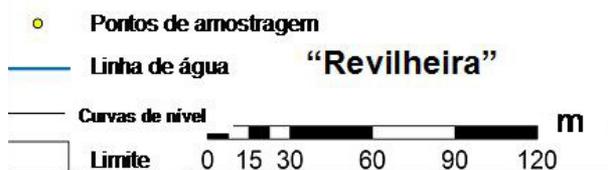
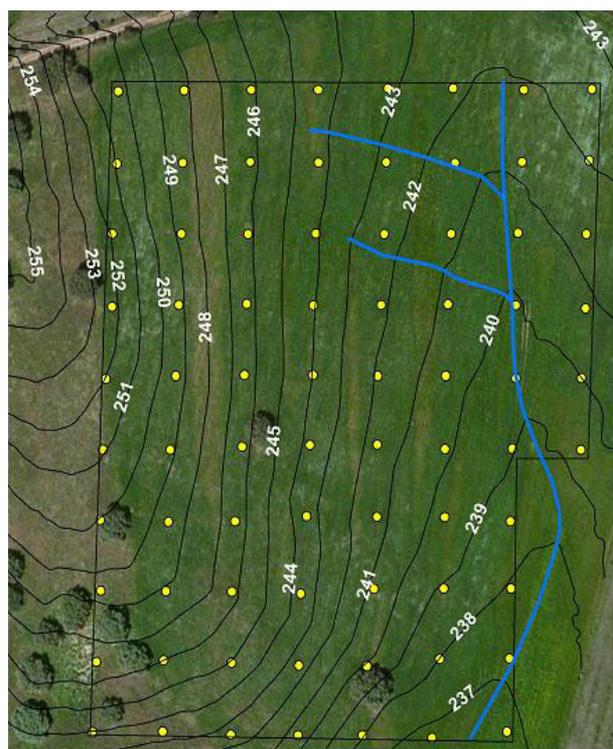


Figura 2 - Grelha de amostragem intensiva do solo na parcela da "Revilheira".

Monitorização da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a)

Em Abril de cada ano (2013 na parcela da "Revilheira" e em 2015 na parcela da "Mitra") a monitorização da CE_a foi realizada com o sensor de contacto Veris 2000 XA (Veris Technologies, Salina, KS, USA) (Figura 3). Este sensor, equipado com uma antena GPS e programado para registar as medições da resistividade eléctrica com intervalos de 1 s, gera um conjunto de dados geo-referenciados para a profundidade de 0 a 0,30 m. O sensor foi puxado por um tractor agrícola convencional a uma velocidade média de 5 km h⁻¹, com espaçamento entre passagens sucessivas de 14 m.



Figura 3 - Sensor "Veris 2000 XA" para monitorização da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a).

Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados incluiu a análise descritiva com o cálculo da média, do desvio padrão (DP), do coeficiente de variação (CV) e do intervalo de variação de cada conjunto de dados.

Os mapas da variabilidade espacial dos parâmetros do solo e da CE_a foram elaborados com o módulo "ArcMap/Spatial Analyst" do programa "ARCGIS" (ESRI, 2009; version 9.3, ESRI Inc, Redlands, CA, USA) tendo sido utilizado como interpolador o inverso do quadrado da distância (IDW, *Inverse Distance Weighting*). A análise de correlação linear entre a CE_a e os parâmetros do solo foi realizada

com o pacote de estatística do “20.0 SPSS package for Windows” (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) com um nível de significância de 95% ($p < 0,05$). Os procedimentos estatísticos foram realizados com o programa “MSTAT-C”, com um nível de significância de 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades do solo

O Quadro 2 apresenta a média, o DP, o CV e o intervalo de variação dos parâmetros do solo nas duas parcelas.

Estes resultados mostram que os solos destas parcelas apresentam textura franca (franco-argiloso na “Revilheira” e franco-arenoso na “Mitra”), são ligeiramente ácidos (“Revilheira”, com pH médio de 6,1) a ácidos (“Mitra” com pH médio de 5,5); pobres em matéria orgânica (1,6-1,7%); e médios em fósforo (P_2O_5 , com valores médios entre 45,4 e 68,2 mg kg^{-1}), quando os valores recomendados para pastagens de sequeiro são da ordem dos 100 mg $P_2O_5 kg^{-1}$ (Serrano *et al.*, 2011).

Os aspectos que mais sobressaem estão relacionados com a grande variabilidade espacial das características do solo, especialmente a CE_a (CV de 42,6% na “Revilheira” e 55,5% na “Mitra”) o P_2O_5 (CV de 34,1% na “Revilheira” e 46,0% na “Mitra”) e a matéria orgânica (CV de 12,5% na “Revilheira” e 26,1% na “Mitra”), o que está de acordo com outros trabalhos. McCormick *et al.*, (2009), por exemplo, registou CVs da ordem dos 50% para o P_2O_5 em solos de pastagens em

resultado do pastoreio animal. Esta variabilidade espacial é um bom indicador em termos de estratégias de gestão diferenciada. O pH, apesar dos valores ligeiramente ácidos (em média entre 5,5 e 6,1, respectivamente nas parcelas da “Mitra” e “Revilheira”), apresentou um CV baixo (inferior a 7%), o que indica a necessidade de aplicação de correctivo calcário, mas não justifica uma aplicação diferenciada.

Variabilidade espacial das propriedades do solo na parcela da “Revilheira”

A Figura 4 apresenta os mapas da variabilidade espacial do pH, da concentração de fósforo e da matéria orgânica no solo da parcela da “Revilheira”. O padrão de variabilidade destes parâmetros revela duas zonas, uma a Nordeste, próximo da linha de água, onde o solo é claramente mais ácido e onde a matéria orgânica e o P_2O_5 são baixos, e uma zona no extremo oposto, a Sudoeste, onde o pH é mais elevado e onde os teores de matéria orgânica e de P_2O_5 são também mais elevados.

Os coeficientes de correlação obtidos (Figura 5) foram significativos entre a CE_a e o pH ($r=0,549$; $p < 0,05$; Figura 5 (a)), o nível de fósforo ($r=0,587$; $p < 0,05$; Figura 5 (b)) e o teor de matéria orgânica no solo ($r=0,609$; $p < 0,05$; Figura 5 (c)).

A Figura 6, à esquerda (a) apresenta o padrão espacial da CE_a , o qual reflecte as tendências que foram observadas nas propriedades do solo. Tendo por base o conhecimento agronómico e histórico da parcela é possível argumentar que a possível razão para a existência de variabilidade se deve ao efeito do pastoreio animal. McCormick *et al.*

Quadro 2 - Média, desvio padrão, coeficiente e intervalo de variação das propriedades do solo nas duas parcelas de ensaio

| Parcelas | “Revilheira” | | | “Mitra” | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------|-----------|-------|------------|
| | Média±DP | CV, % | Intervalo | Média±DP | CV, % | Intervalo |
| Propriedades do solo | | | | | | |
| CE_a , mS m^{-1} | 6,1±2,6 | 42,6 | 2,4-12,6 | 15,9±8,8 | 55,5 | 6,0-33,0 |
| Matéria orgânica, % | 1,6±0,2 | 12,5 | 1,3-2,7 | 1,7±0,4 | 26,1 | 1,1-2,4 |
| pH | 6,1±0,3 | 4,9 | 5,6-6,9 | 5,5±0,4 | 6,6 | 4,9-6,0 |
| P_2O_5 , mg kg^{-1} | 45,4±15,5 | 34,1 | 21,5-124,0 | 68,2±31,4 | 46,0 | 25,0-114,0 |
| Areia, % | 43,9±5,7 | 13,0 | 31,0-55,4 | 70,9±6,1 | 8,6 | 55,3-81,3 |
| Limo, % | 21,7±2,8 | 12,8 | 15,6-27,6 | 13,6±2,2 | 16,0 | 9,3-16,9 |
| Argila, % | 34,4±4,9 | 14,4 | 23,4-43,2 | 15,6±5,5 | 35,0 | 9,4-31,6 |

DP- Desvio padrão; CV- Coeficiente de variação; CE_a - Condutividade eléctrica aparente do solo.

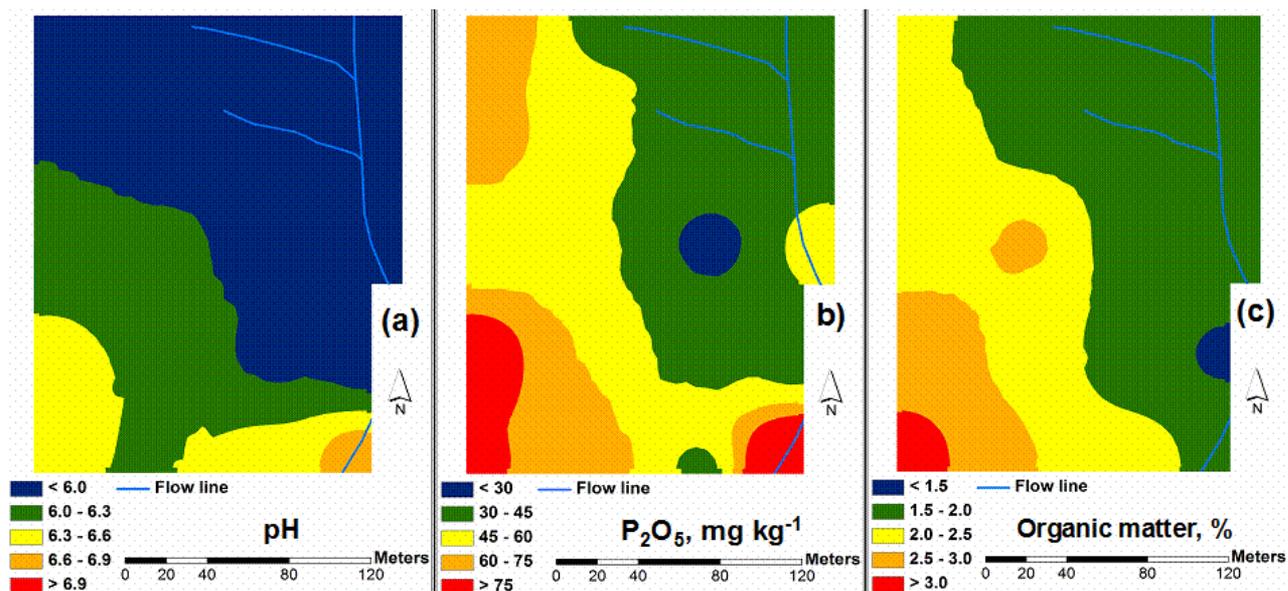


Figura 4 - Mapas da variabilidade espacial do pH, dos fosfatos (P_2O_5) e do teor em matéria orgânica no solo da parcela da "Revilheira".

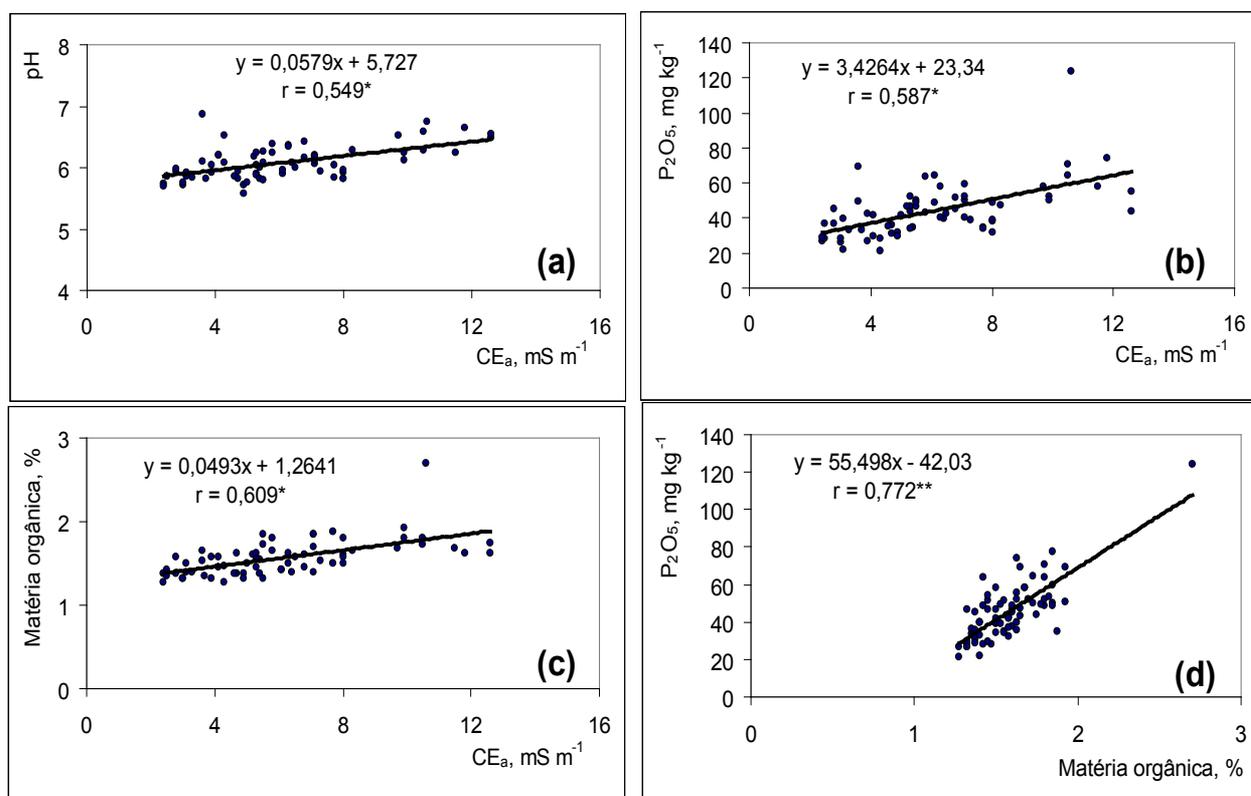


Figura 5 - Correlação entre: (a) pH e CE_a ; (b) P_2O_5 e CE_a ; (c) matéria orgânica e CE_a ; (d) P_2O_5 e matéria orgânica, do solo da parcela da "Revilheira".

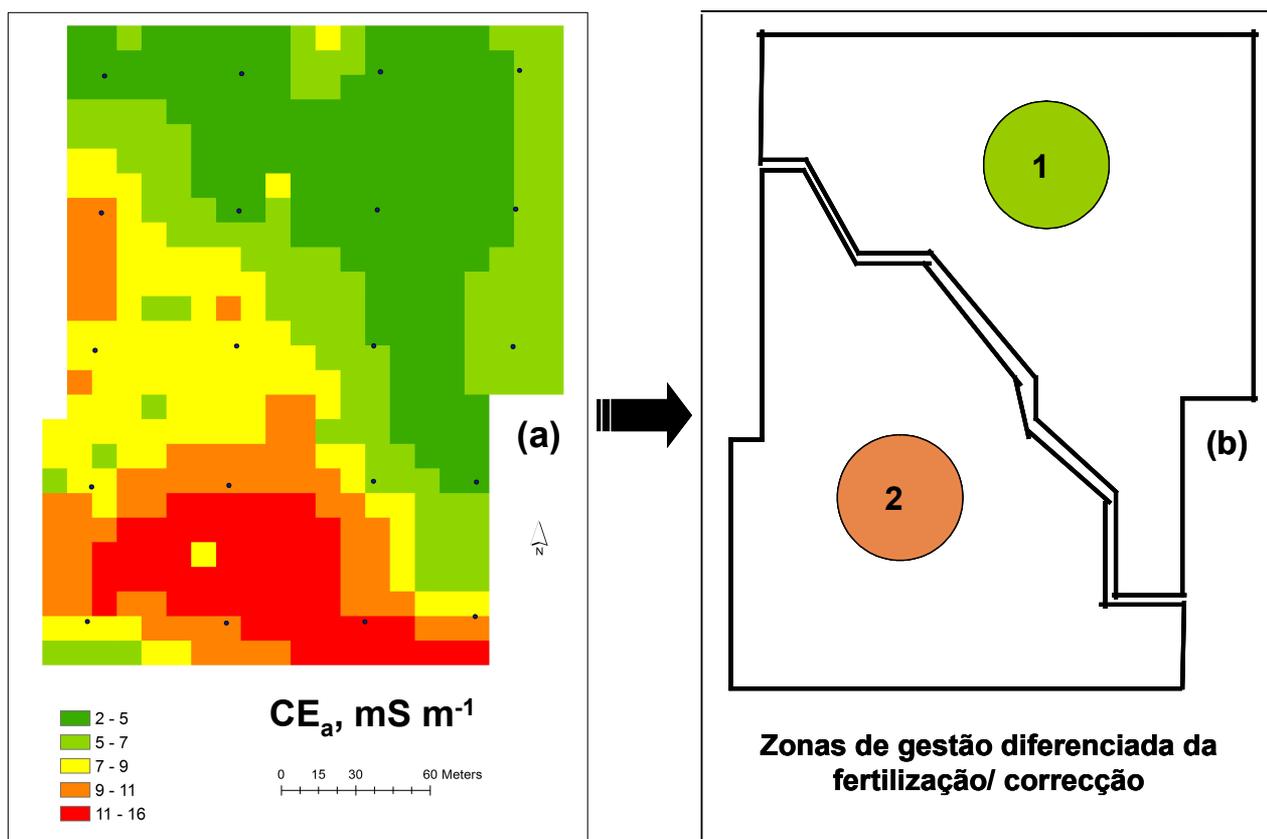


Figura 6 - Mapas do padrão espacial da: (a) condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a) e (b) zonas de gestão potencial na parcela da “Revilheira”.

(2009) concluíram que o pastoreio animal introduz considerável variabilidade no nível de nutrientes no solo como resultado da deposição heterogénea de dejectos. Serrano *et al.* (2013) mostraram que os animais tendem a permanecer mais tempo nas áreas altas das parcelas, onde existem árvores (Figura 2), resultando em maior deposição de urina e fezes, com clara implicação nas concentrações de matéria orgânica e de fósforo. A correlação entre estes dois parâmetros do solo (matéria orgânica e P_2O_5) foi significativa ($r=0,772$; $p<0,01$; Figura 5 (d)).

A Figura 6, à direita (b), mostra o mapa das potenciais zonas para gestão diferenciada da fertilização: (1) zona com claras necessidades de correcção dos níveis de P_2O_5 (e do pH); (2) zona com maior fertilidade do solo, o que pode justificar a aplicação de menores quantidades de fertilizante fosfatado (e de calcário).

Variabilidade espacial das propriedades do solo na parcela da “Mitra”

A parcela da “Mitra” foi abordada numa perspectiva diferente da parcela da “Revilheira”. O objectivo foi utilizar a medição expedita da CE_a para simplificar o processo de amostragem e, simultaneamente, validar os resultados obtidos na parcela da “Revilheira”. A Figura 7, à esquerda (a), mostra o mapa da variabilidade espacial da CE_a na parcela da “Mitra”. Nesta parcela, o mapa da CE_a constituiu a base para a identificação dos pontos de amostragem do solo. Foi estabelecido um transecto que atravessa a parcela de Norte a Sul, onde foram identificados os 10 pontos de amostragem os quais identificam zonas correspondentes a diferentes valores de CE_a (Figura 7, à direita, (b)).

A Figura 8 apresenta a correlação entre as propriedades do solo na parcela da “Mitra”.

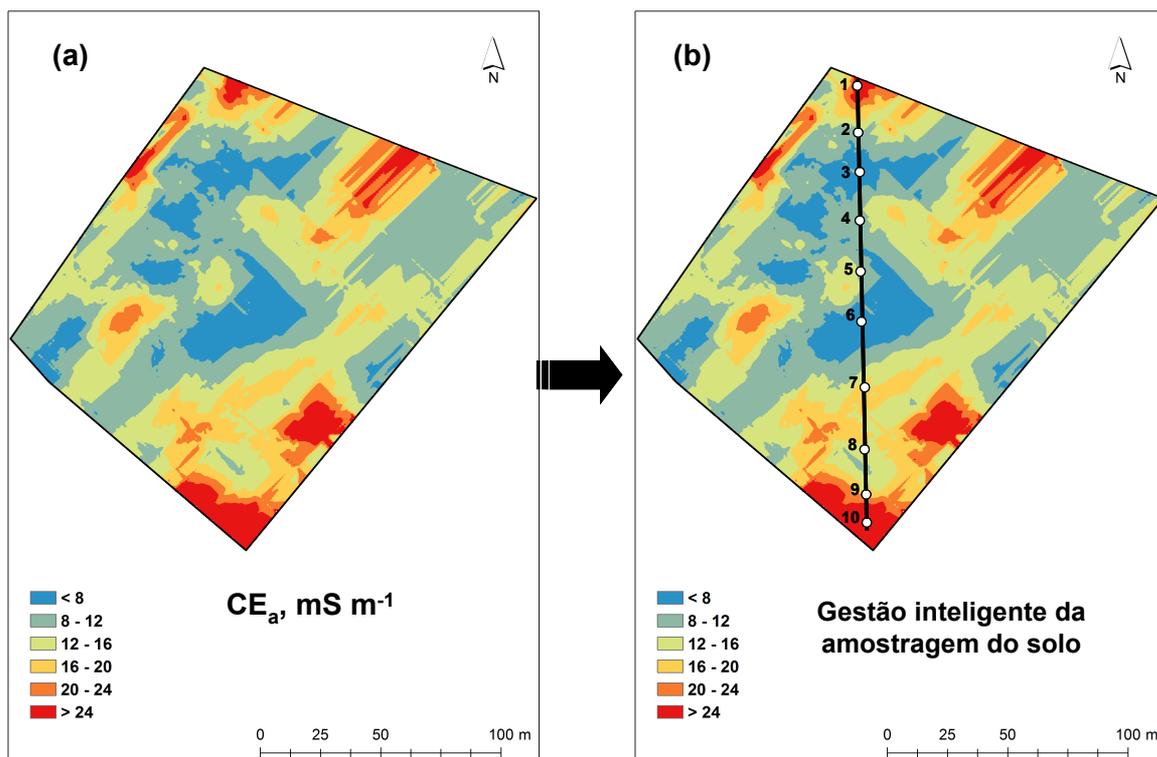


Figura 7 - À esquerda (a): mapa da condutividade eléctrica aparente (CE_a) do solo; à direita (b): mapa de amostragem “inteligente” do solo baseado na CE_a da parcela da “Mitra”.

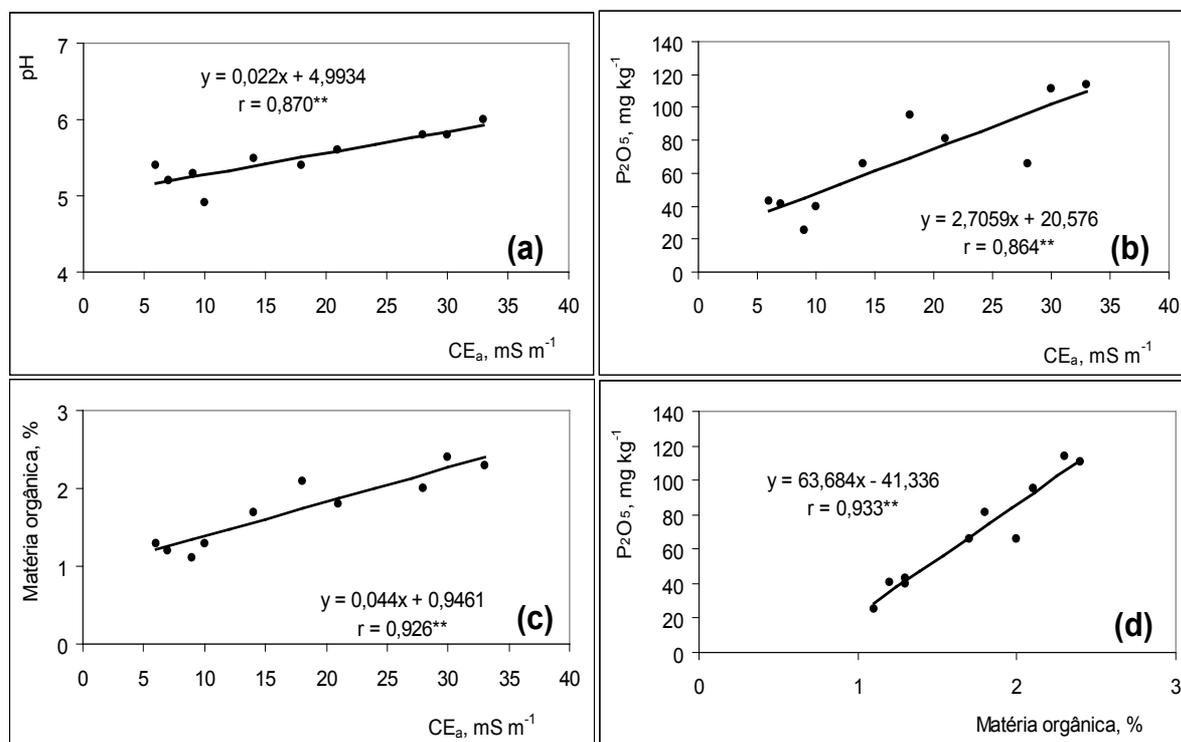


Figura 8 - Correlação entre: (a) pH e CE_a ; (b) P_2O_5 e CE_a ; (c) matéria orgânica e CE_a ; (d) P_2O_5 e matéria orgânica, do solo da parcela da “Mitra”.

A análise de regressão entre a CE_a e os parâmetros do solo medidos na parcela da “Mitra” revelou correlações significativas com o pH ($r=0,870$; $p<0,01$; Figura 8 (a)), com o nível de fósforo ($r=0,864$; $p<0,01$; Figura 8 (b)) e com o teor de matéria orgânica ($r=0,926$; $p<0,01$; Figura 8 (c)). Foi também observada uma correlação significativa entre o nível de fósforo e o teor de matéria orgânica do solo ($r=0,933$; $p<0,01$; Figura 8, (d)).

Estes resultados são reveladores do potencial dos sensores medidores da CE_a do solo para efeitos de simplificação do processo tradicional de amostragem do solo e de identificação de zonas de gestão diferenciada, de acordo com a proposta apresentada na Figura 1.

Actualmente, várias equipas de investigação procuram associar este potencial, manifestado pela informação obtida por sensores medidores da CE_a a modelos e técnicas geo-estatísticas (como a análise de componentes principais ou o modelo “Rash”) para definição das zonas de gestão diferenciada e apoio à tomada de decisão (Moral *et al.*, 2011; Castrignanò *et al.*, 2017). É, por isso, imperativo, continuar este trabalho e verificar a estabilidade temporal das medições da CE_a do solo e das correlações com as propriedades do solo relevantes na gestão do ecossistema montado. A variabilidade espacial e a estabilidade temporal são duas condições fundamentais para implementação de estratégias de Agricultura de Precisão (Blackmore *et al.*, 2003).

O montado, devido à variabilidade inerente aos elementos que o constituem (solo, pastagem, árvores e animais), é no momento uma área de grande interesse para os investigadores, nomeadamente em termos de aplicação de novas tecnologias (detecção remota e sensores próximos), as quais permitem um conhecimento global sobre este ecossistema

(Serrano *et al.*, 2018). Não obstante, dada a especificidade das suas características e numa perspectiva que se pretende de generalização, será interessante alargar a validação destes resultados a outros tipos de solos e a outros ecossistemas.

CONCLUSÕES

A fertilização do solo é o principal custo de manutenção das pastagens permanentes associadas ao ecossistema Mediterrânico montado. O pastoreio animal e a presença de árvores acentuam a variabilidade espacial da fertilidade do solo, o que é difícil de quantificar. Este trabalho demonstra o interesse em utilizar a CE_a como ferramenta de apoio na monitorização da variabilidade espacial das características do solo. As correlações significativas entre a CE_a e algumas propriedades importantes do solo, como o pH, a matéria orgânica e o teor de fósforo permitem uma nova abordagem de gestão, o que pode contribuir para a sustentabilidade deste ecossistema. Estas tecnologias estão à disposição dos prestadores de serviços do sector agrícola, constituindo oportunidades de negócio no âmbito da *Agricultura de Precisão*. A monitorização da variabilidade espacial das parcelas e a definição de zonas homogéneas são etapas necessárias à gestão diferenciada: (1) da amostragem do solo; (2) do pastoreio animal; ou (3) da aplicação de fertilizantes ou correctivos do solo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projecto UID/AGR/00115/2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blackmore, S.; Godwin, R. & Fountas, S. (2003) – The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over 6 years. *Biosystems Engineering*, vol. 84, n. 4, p. 455-466. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00038-2)
- Brevik, E.; Fenton, T. & Lazari, A. (2006) – Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, vol. 7, n. 6, p. 393-404. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9021-x>
- Castrignanò, A.; Buttafuoco, G.; Quarto, R.; Vitti, C.; Langella, G.; Terribile, F. & Nenezia, A. (2017) – A combined approach of sensor data fusion and multivariate geostatistics for delineation of homogeneous zones in an agricultural field. *Sensors*, vol. 17, n. 12, art. 2794. <https://doi.org/10.3390/s17122794>
- Corwin, D.L. & Lesch, S.M. (2005) – Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. Part II. Case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 46, n. 1-3, p. 135-152. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.003>
- Daniels, M.B.; Delaune, P.; Moore, P.A.; Mauromoustakos, A.; Chapman, S.L. & Langston, J.M. (2001) – Soil phosphorus variability in pastures: implications for sampling and environmental management strategies. *Journal of Environmental Quality*, vol. 30, n. 6, p. 2157-2165. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2157>
- David, T.S.; Pinto, C.A.; Nadezhkina, N.; Kurz-Besson, C.; Henriques, M.O.; Quilhó, T.; Cermak, J.; Chaves, M.M.; Pereira, J.S. & David, J.S. (2013) – Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: a modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, vol. 307, p. 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.012>
- ESRI (2009) – *ArcView 9.3 GIS Geostatistical Analyst*. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA, USA.
- FAO (2006) – *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports No. 103. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Mallarino, A.P. & Wittry, 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. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000022358.24102.1b>
- McCormick, S.; Jordan, C. & Bailey, J. (2009) – Within and between-field spatial variation in soil phosphorus in permanent grassland. *Precision Agriculture*, vol. 10, n. 3, p. 262-276. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9099-4>
- Moral, F.; Terrón, J. & Marques da Silva, J. (2010) – Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research*, vol. 106, n. 2, p. 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.12.002>
- Moral, F.; Terrón, J.M. & Rebollo, F. (2011) – Site-specific management zones based on the Rash model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, n. 2, p. 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.014>
- Peralta, N.R. & Costa, J.L. (2013) – Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, p. 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.014>
- Pinto-Correia, T.; Ribeiro, N. & Sá-Sousa, P. (2011) – Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal. *Agroforestry Systems*, vol. 82, art. 99. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9388-1>
- Schellberg, J.; Hill, M.J.; Gerhards, R.; Rothmund, M. & Braun, M. (2008) – Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, vol. 29, n. 2-3, p. 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- Serrano, J.; Peça, J.; Marques da Silva, J. & Shahidian, S. (2010) – Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 73, n. 1, p. 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.03.008>
- Serrano, J.; Peça, J.; Marques da Silva, J.; Shahidian, S. & Carvalho, M. (2011) – Phosphorus dynamics in permanent pastures: differential fertilizing and the animal effect. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 90, n. 1, p. 63-74. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9412-2>
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Marques da Silva, J. (2013) – Small scale soil variation and its effect on pasture yield in Southern Portugal. *Geoderma*, vol. 195-196, p. 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.001>

- Serrano, J.; Shahidian, S. & Marques da Silva, J. (2014) – Spatial and temporal patterns of apparent electrical conductivity: DUALEM versus Veris sensors for monitoring soil properties. *Sensors*, vol. 14, n. 6, p. 10024-10041. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fs140610024>
- Serrano, J.; Shahidian, S.; Marques da Silva, J.; Sales-Baptista, E.; Ferraz de Oliveira, I.; Lopes de Castro, J.; Pereira, A.; Cancela de Abreu, M.; Machado, E. & Carvalho, M. (2017) – Tree influence on soil and pasture: Contribution of proximal sensing to pasture productivity and quality estimation in montado ecosystems. *International Journal of Remote Sensing*, in press. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1404166>
- Serrano, J.; Shahidian, S.; Marques da Silva, J.; Machado, E. & Carvalho, M. (2018) – Avaliação do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem no ecossistema montado: estudo de caso. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 41, n. 1, p. 72-81. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17200>
- Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R.; Bollero, G.A.; Bullock, D.G. & Wiebold, W.J. (2003) – Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal*, vol. 95, n. 3, p. 472-482. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.4720>