

PROTEGER AS FUNÇÕES DO SOLO ASSEGURAR A VIDA DA TERRA

**Maria do Carmo Horta
Carlos Alexandre
(eds.)**



**Encontro Anual das Ciências do Solo
Castelo Branco 2015**



Instituto Politécnico de Castelo Branco
Escola Superior Agrária

Ficha Técnica

Edição

Instituto Politécnico de Castelo Branco

Título

Proteger as Funções do Solo – Assegurar a Vida da Terra
Encontro Anual das Ciências do Solo - 2015

Editores

Maria do Carmo Horta
Carlos Alexandre

Capa, projecto gráfico e paginação

Rui Tomás Monteiro

Arte Final, impressão e acabamento

Serviços Gráficos do IPCB

Publicação on-line

ISBN: 978-989-8196-56-9

Depósito Legal: 404954/16

©

Comissão Organizadora

Maria do Carmo Horta (coordenação), Pedro Lopes, Carlos Alexandre, Fernando Girão Monteiro, Henrique Ribeiro, Maria da Conceição Gonçalves, Tiago Ramos.

Comissão Científica

Afonso Martins (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro), António Canatário (Escola Superior Agrária, Castelo Branco), Carlos Alexandre (Universidade de Évora), Corina Carranca (INIAV, Oeiras), Ernesto Vasconcelos (Instituto Superior de Agronomia), Fátima Calouro (INIAV, Lisboa), Fernanda Cabral (Instituto Superior de Agronomia), Fernando Girão Monteiro (Instituto Superior de Agronomia), Henrique Ribeiro (Instituto Superior de Agronomia), João Coutinho Mendes (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro), João Paulo Carneiro (Escola Superior Agrária, Castelo Branco), Jorge Pinheiro (Universidade dos Açores), José Casimiro Martins (INIAV, Oeiras), Manuel Madeira (Instituto Superior de Agronomia), Manuela Abreu (Instituto Superior de Agronomia), Maria da Conceição Gonçalves (INIAV, Oeiras), Maria do Carmo Horta (Escola Superior Agrária, Castelo Branco), Maribela Pestana (Universidade do Algarve), Miguel Brito (Escola Superior Agrária, Ponte de Lima), Raquel Dias Mano (INIAV, Lisboa), Ricardo Serralheiro (Universidade de Évora), Tomás Figueiredo (Escola Superior Agrária, Bragança).

Índice

Estudo com tomografia de resistividade elétrica do efeito de tráfego de máquinas e mobilização em solo cultivado	5
Aitor García-Tomillo, Tomás de Figueiredo, Jorge Dafonte Dafonte, Antonio Paz-González e Arlindo Almeida	
Comparação de níveis de populações microbianas em solos não mobilizados e em solos mobilizados	13
António Pinto	
Análise exploratória da diversidade no uso da terra no perímetro de rega do Roxo	21
Carlos Alexandre, Manuela Correia e José Pinto Casquilho	
Avaliação temporal do efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo, em áreas de montanha com matos	31
Clotilde Nogueira, Felícia Fonseca e Tomás Figueiredo	
Impacto da preparação do terreno em indicadores físicos e químicos da qualidade de solos florestais	39
Felícia Fonseca, Tomás de Figueiredo e Afonso Martins	
O contributo da análise espacial multicritério para a utilização sustentável do solo	47
Luís Quinta-Nova e Natália Roque	
Caracterização nutricional da alga <i>Gracilaria vermiculophylla</i>	57
Maria M. Vidal, Catarina R. Silva, Joana M. Rodrigues e Susana M. Cardoso	
Uso da terra e riscos de degradação do solo no Nordeste de Portugal: mudanças nas últimas décadas	63
Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca e Zulimar Hernandez	
Are the total amount and quality of soil organic matter enough to prevent the soil loss in volcanic regions?	71
Zulimar Hernández, Tomás de Figueiredo, Pilar Carral, Ana M. Álvarez and Gonzalo Almendros	



Estudio con tomografía de resistividad eléctrica del efecto del tráfico de maquinaria en un suelo agrícola

Estudio con tomografía de resistividad eléctrica del efecto del tráfico de maquinaria en un suelo agrícola

Applying electrical resistivity tomography to assess the effects of tillage and traffic by farm machinery over a fallow plot soil

*Aitor García-Tomillo¹, Tomás de Figueiredo², Jorge Dafonte Dafonte³,
Arlindo Almeida² y Antonio Paz-González¹*

RESUMEN

La compactación es un grave problema cuya incidencia aumenta ya que es difícil de localizar y revertir al tratarse de un fenómeno sub-superficial. La tomografía de resistividad eléctrica (TRE) es un método geofísico no invasivo que se puede usar para identificación de áreas compactadas, espesor de horizontes y clasificación de propiedades físicas del suelo. Este trabajo estudia la relación entre la resistividad eléctrica del suelo y la compactación del mismo. Los datos de TRE se tomaron en un transecto de 4 m en una parcela en barbecho en el Campus de la Universidad de Bragança (Portugal). Se realizaron medidas de TRE antes y después del laboreo y paso del tractor. Se tomaron muestras de suelo (0-0,05; 0,05-0,1 y 0,1-0,2 m de profundidad) antes y después del paso del tractor para estudiar: Humedad, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y porosidad del suelo. Se observó que el efecto del laboreo y paso del tractor afectó de manera más importante en los primeros 0,05 m de suelo. En las zonas correspondientes a las rodadas del tractor la resistividad eléctrica sufrió una reducción del orden de un 40%, la conductividad hidráulica saturada disminuyó un 70% y la densidad aparente aumentó en un 24%.

Palavras-chave: Compactación, Tomografía de Resistividad Eléctrica, Conductividad hidráulica saturada del suelo,

¹Área de Edafología y Química Agrícola, Universidad de A Coruña – Campus Zapateira – CP-15008 A Coruña, España. aitor.garcia.tomillo@udc.es

²Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (ESA/IPB), Campus de Santa Apolonia, 5301-855 Bragança, Portugal. tomasfig@ipb.pt

³Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela – Calle Benigno Ledo s/n. CP-27002, Lugo, España

ABSTRACT

Soil compaction is a serious problem, which is aggravated because it is difficult to locate and reverse, because it is a subsurface phenomenon. The electrical resistivity tomography (ERT) is a non-invasive geophysical method that can be used to identify compacted areas, soil horizon thickness and classification of soil physical properties. This paper studies the relationship between electrical resistivity and soil compaction. ERT data were taken on a transect of 4 m on a fallow plot on the campus of the University of Bragança (Portugal). ERT measurements were performed before and after tillage and tractor passage. Soil samples (0-0.05, 0.05-0.1 and 0.1-0.2 m depth) were taken to study: soil bulk density, porosity, saturated hydraulic conductivity and soil water content before and after passage of the tractor. It was observed that the effect of tillage and tractor passage affected most important in the first 0.05 m depth. In the wheel track areas electrical resistivity suffered a reduction of about 40%, saturated hydraulic conductivity decreased by 70% and the bulk density increased by 24%.

Keywords: Soil Compaction, Electrical Resistivity Tomography, Saturated Hydraulic Conductivity

Introducción

La degradación de la estructura del suelo, denominada comúnmente compactación es una reducción del espacio poroso entre los agregados, es un problema mundial que ocurre en todos los suelos y niveles de producción agrícola. La compactación del suelo es uno de los más graves problemas causados por la agricultura convencional que afecta a la calidad física del suelo, la compactación ocurre aún en sistema de no laboreo debido al tráfico de maquinaria agrícola pesada (Batey, 2009). La compactación del suelo, debido al colapso o disminución de los espacios de poros, es una causa común de restricción física para el crecimiento y desarrollo del sistema radicular provocando la pérdida de rendimiento del cultivo supone un alto coste económico para el agricultor, (debido a la disminución del intercambio gaseoso con la atmósfera, existe una menor infiltración de agua y por tanto menor oscilación de las reservas hídricas, aspecto que cobra mayor importancia en el área mediterránea donde los riesgos de erosión hídrica son mayores).

El problema de la compactación es, además un fenómeno sub-superficial; no mostrando una evidencia superficial del problema, con lo cual la compactación del suelo requiere análisis físicos antes de ser identificada su extensión, naturaleza y causa. Horn y Fleige (2003) desarrollaron un método para la evaluación del efecto de la maquinaria sobre propiedades físicas del suelo por medios convencionales. La Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) está reconocida como un método geofísico no invasivo para el estudio de la variabilidad espacial y temporal del

suelo que ha sido utilizada para estudiar el efecto del laboreo en propiedades físicas del suelo (Rossi *et al.* 2013; Besson *et al.* 2013), para describir capas de suelo labrado (Besson *et al.* 2004), así como para estimar el contenido de agua del suelo (Samouëlian *et al.* 2005; Seladji *et al.* 2010; Dafonte *et al.* 2013) y la conductividad hidráulica saturada del suelo (Farzadian *et al.* 2015). Friedman, (2005) sostiene que los factores que afectan al valor de la resistividad eléctrica (RE) son porosidad, contenido en agua, estructura, forma de las partículas y orientación, distribución de tamaño de las partículas, capacidad de intercambio catiónico, composición de cationes de la solución del suelo, temperatura, ente otros. El paso de la corriente tiene lugar en los poros llenos de agua y además en la superficie de las partículas de arcilla, la RE dependerá en cierta medida de la densidad aparente del suelo y de forma más general de la estructura del suelo (Basso *et al.* 2010). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de compactación sobre el suelo debido al laboreo y paso de maquinaria agrícola utilizando la TRE, así como propiedades físicas del suelo relacionadas con el proceso de compactación (densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica saturada) en una sub-parcela de ensayo en barbecho.

Material y Métodos

Área de Estudio

La parcela de estudio está situada en el Instituto Politécnico de Bragança (Portugal) en las coordenadas geográficas N 41° 47' 802''W estando dedicada a barbecho. Se eligió dentro de la propia parcela una sub-parcela de 20 m x 4 m para llevar a cabo este estudio. El suelo es un Cambisol Eútrico (IUSS, 2014) sobre rocas metabásicas. Siendo su textura Franco-Arenosa con un 30,24 % de elementos gruesos (>2 mm). El clima de la región es Csb de acuerdo con la clasificación climática de Köppen. Esta región recibe una precipitación anual de unos 800 mm al año con una distribución de estaciones típicas del clima Mediterráneo siendo la temperatura media anual 12 °C.

Labores

Se utilizaron dos tipos de tractores: un tractor de 90 CV John Deere 5620 de 4300 kg de peso con una distancia entre ejes de 2,20 m; neumáticos delanteros 340/85 R 24 y traseros 420/85 R 34; y otro tractor de 60 CV Fiat 55-46 de 2260 kg de peso con neumáticos delanteros 6.00-16 y traseros de 12.4/11-32. En primer lugar se realizó una labor con un arado de vertedera reversible de 12 cuerpos (6 rejas) con un ancho de trabajo de 1,80 m. A continuación se llevo a cabo una labor con el cultivador de 9 brazos plegables de muelle a una profundidad de 0,2 m, siendo el ancho de trabajo de 2,43 m y por último los tractores recorrieron la sub-parcela sin aperos. De este modo el diseño experimental permite comparar dos estados del suelo (sin compactar: interrodada-rodada vs compactado en la rodada) observando sus efectos en la resistividad eléctrica del suelo y en las propiedades físicas evaluadas.

Muestras de suelo

Las 18 muestras de suelo fueron tomadas anteriormente al laboreo y al paso de los tractores el 11 de Febrero de 2015, sin precipitaciones los días previos al muestreo. A continuación del laboreo y paso de la maquinaria, se recogieron 15 muestras de suelo; el tiempo transcurrido entre la toma de muestras suelo inicial y final fue de aproximadamente una hora. Las muestras de suelo se tomaron en 3 puntos en un transecto perpendicular al paso del tractor, donde también se midió la TRE, y en un segundo transecto a 11 m del anterior dentro de la parcela de estudio. Las muestras fueron tomadas a 3 profundidades: 0-0,05 m; 0,05-0,1 m y 0,1-0,2 m mediante cilindros metálicos de 100 cm³. Se llevó a cabo el estudio de la conductividad hidráulica saturada (Ks). Para ello se colocaron los cilindros en el permeámetro de carga constante (carga hidráulica media de 2,4 cm) y circuito cerrado para obtener el valor de Ks (cm/h) de acuerdo a la fórmula (Hillel, 1998). La densidad aparente se calculó en función del volumen de los cilindros metálicos utilizados para recoger las muestras. La porosidad del suelo se calculó asumiendo una densidad real de 2,65 g/cm³. Además se recogieron 8 muestras aleatoriamente distribuidas en la parcela para la determinación de la humedad gravimétrica del suelo en el momento de las medidas (TRE y muestreo del suelo) para la profundidad 0,0-0,20 m, cuyo valor medio fue de 19,5% \pm 2,77.

Tomografía de Resistividad Eléctrica

Las medidas de TRE se realizaron en un mismo transecto de la sub-parcela, perpendicularmente al paso de los tractores; realizándose una medición previamente al laboreo y paso de los tractores y otra medición inmediatamente después. Se utilizó un equipo Terrameter SAS 1000 (ABEM), junto con un selector de electrodos ES 10-64; con una separación entre los 40 electrodos metálicos de 0,10 m, y una apertura de alas de 4 m. Los datos de resistividad eléctrica aparente de ambas mediciones fueron invertidos mediante el software RES2DINV para obtener un modelo 2D de los datos de resistividad real. El protocolo elegido para realizar la medida fue el Wenner (Wenner 32SX) debido a que es el más apropiado para el estudio de estructuras horizontales (Loke, 2011; Samouëlian *et al.* 2005).

Para la comparación con las propiedades físicas del suelo, se tomó el perfil de resistividad eléctrica en la zona de una rodada del tractor de 90 CV y en la interrodada adyacente; hasta una profundidad de 0,3 m.

Resultados y discusión

Los resultados de las propiedades del suelo estudiadas antes y después del laboreo y paso del tractor se muestran en la Tabla 1. En la Figura 1 se presenta su variación relativa antes y después del laboreo y paso de maquinaria. Se puede observar la disminución de la conductividad hidráulica saturada del suelo después del laboreo y paso del tractor en un orden del 84% en la zona de rodada y un

81% en la zona de interrodada; lo que va en consonancia con la disminución de la porosidad total 17% en la zona de rodada y un 12,4% en la zona de interrodada y el aumento de la densidad aparente (17,5% en la zona de rodada y 13% en la de interrodada). La disminución de la conductividad hidráulica saturada del suelo, disminución de la porosidad y aumento de la densidad aparente es diferente en función de la profundidad; la capa superficial de suelo (0-0,05 m) fue la más afectada. Se destaca la gran variabilidad de la conductividad hidráulica saturada; reflejada en los elevados valores de K_s y de los coeficientes de variación ($CV=181\%$ previo al paso del tractor, $CV=134\%$ en la zona de rodada y $CV=40,32\%$ en la zona de interrodada). En la Figura 2 se muestra la variación relativa de la resistividad eléctrica en profundidad, donde se observa una disminución de la resistividad eléctrica un 35% en los primeros 0,05 m del suelo en la zona de rodada, y una reducción de 21% y 22% en las zonas de rodadas en las profundidades 0,05-0,10 m y 0,1-0,2 m respectivamente. Las zonas de interrodada sufren reducciones de entre el 4-5% para las 3 profundidades. Se observa una disminución del valor de la resistividad eléctrica una vez se ha efectuado el laboreo y el paso del tractor sobre el terreno. El valor medio para los datos previos en los 23 primeros cm es de $106,24 \Omega \text{ m}$ (con un mínimo de $17,97 \Omega \text{ m}$ y un máximo de $204,08 \Omega \text{ m}$) y el valor medio de los datos posteriores es de $84,20 \Omega \text{ m}$ (con un mínimo de $19,62 \Omega \text{ m}$ y un máximo de $128,3 \Omega \text{ m}$). De acuerdo con Besson et al. (2004, 2013), en las zonas compactadas se observan claramente que tienen una menor resistividad eléctrica, lo que coincide con lo observado. Basso et al. (2010) encontraron valores de resistividad eléctrica obtenida por TRE entre $10-80 \Omega \text{ m}$ en suelo en barbecho. En la Figura 3 se muestra el perfil vertical de la resistividad eléctrica en las zonas de rodada del tractor y en las de interrodada; mostrando en los primeros 0,2 m del suelo una gran disminución en las zonas de rodada mientras que en las de interrodada la reducción no es tan destacable. Los resultados muestran por lo tanto que la TRE es una herramienta adecuada para la valoración de la compactación debido al tráfico de maquinaria pesada sobre el suelo.

Según Seladji *et al.* (2010) es recomendable realizar el estudio y monitorización de la compactación del suelo con el suelo seco, debido a que los datos de resistividad son sensibles a incrementos de la densidad para contenidos en humedad bajos, aunque en nuestro caso con un contenido de humedad del 19,5%, sí que se apreció una clara diferencia entre los valores de resistividad eléctrica en el suelo compactado y en el no compactado. Si bien, los valores de resistividad eléctrica tienen una variación relativa mayor en la zona de rodadas respecto a la zona interrodadas, que en el resto de propiedades físicas estudiadas.

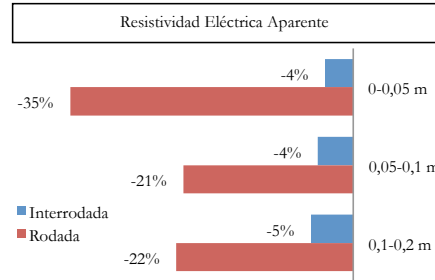
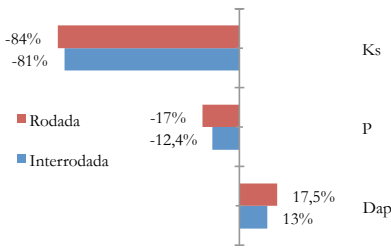


Fig. 1 – Variación relativa (%) de la Conductividad hidráulica saturada, Porosidad, Densidad aparente para la profundidad 0-0,2 m. Ks=Conductividad hidráulica saturada, P = Porosidad total, Dap = Densidad aparente.

Fig. 2 – Variación relativa (%) de la Resistividad eléctrica (B): antes y después del laboreo y paso del tractor.

Tab. 1 – Comparación de los valores medios (\pm desviación típica) de las propiedades del suelo estudiadas por profundidad para las situaciones previo y posterior al laboreo y paso del tractor obtenidas en la rodada e interrodada.

Prop	Uds.	Prof. (m)	Previo	Posterior	
				Interrodada	Rodada
Dap	g/cm ³	0-0,05	1,18a \pm 0,16	1,35ab \pm 0,24	1,47b \pm 0,12
		0,05-0,1	1,29a \pm 0,13	1,43ab \pm 0,12	1,57b \pm 0,04
		0,1-0,2	1,47a \pm 0,28	1,66ab \pm 0,64	1,58b \pm 0,09
		0-0,05	55,4a \pm 6,20	49,1ab \pm 8,9	44,61b \pm 4,4
P	%	0,05-0,1	51,3a \pm 5,03	46,2ab \pm 4,5	40,78b \pm 1,6
		0,1-0,2	44,5a \pm 10,55	37,3ab \pm 1,6	40,26b \pm 0,1
		0-0,05	797,4a \pm 1444	111,1ab \pm 45	75,42b \pm 101
Ks	cm/h	0,05-0,1	364,3a \pm 547	83,7ab \pm 66	192,37b \pm 38
		0,1-0,2	37,8a \pm 39	62,3ab \pm 34	68,57b \pm 63

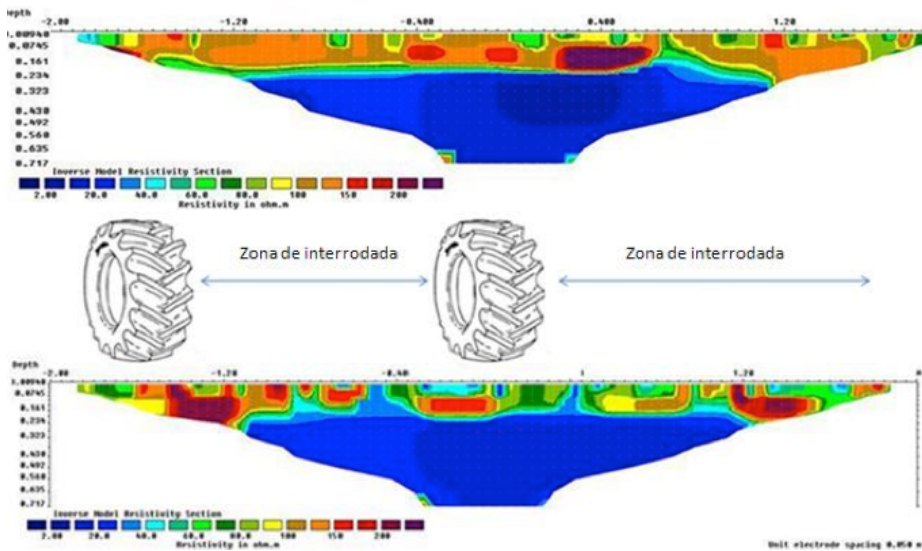


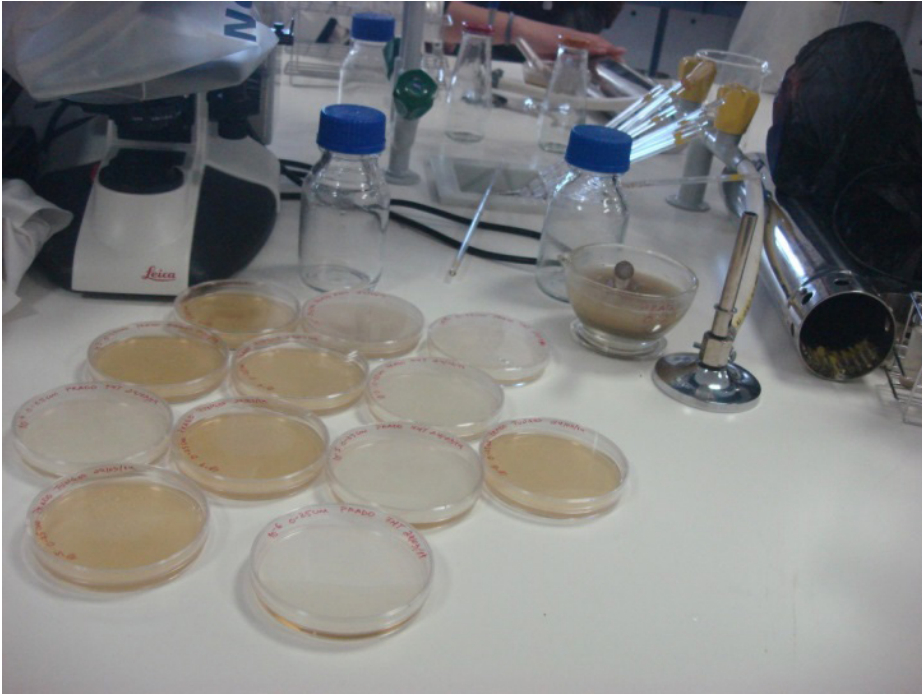
Fig.3 – Perfiles de resistividad eléctrica obtenidos con el RES2DINV para antes y después del laboreo y paso del tractor. Medias seguidas por letras diferentes, para cada profundidad y propiedad del suelo, difieren significativamente (Tukey, $p < 0,05$).

Conclusiones

La TRE ha demostrado su utilidad como herramienta para detectar la compactación provocada por el paso de maquinaria agrícola, ya que ha detectado claramente la compactación provocada en la zona de las rodadas el valor de resistividad eléctrica sufrió una reducción del orden de un 35% en los 0,05 primeros m, la conductividad hidráulica saturada disminuyó un 84% en la zona de rodada y un 81% en la zona de interrodada y la densidad aparente aumentó en un 17,5% y un 13% en la zona de rodada e interrodada respectivamente; con respecto a la situación antes del laboreo. Con los resultados obtenidos sería posible la utilización conjunta de medidas de propiedades físicas del suelo y de perfiles de TRE en 2D para caracterizar la variabilidad espacial en profundidad y en superficie de la compactación. Como trabajo futuro sería interesante utilizar la TRE en 3D para caracterizar mejor la variación de la resistividad eléctrica y con ello la compactación.

Bibliografía

- Basso B., Amato M., Bitella G., Rossi R., Kravchenko A., Sartori L., Carvahlo L. M. y Gomes J., 2010. Two-Dimensional Spatial and Temporal Variation of Soil Physical Properties in Tillage Systems Using Electrical Resistivity Tomography. *Agron. J.* 102, 2:440-449.
- Batey, T., 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use Manage.* 25: 335-345
- Besson, A., Cousin, I., Samouëlian, A., Boizard, H., Richard, G., 2004. Structural heterogeneity of the soil tilled layer as characterized by 2D electrical resistivity surveying. *Soil Till Res.*79: 239–249.
- Besson, A., M. Séger, G. Giot y I. Cousin, 2013. Identifying the characteristic scales of soil structural recovery after compaction from three in-field methods of monitoring. *Geoderma*, 204–205: 130-139.
- Dafonte Dafonte, J, Raposo J.R., Valcárcel M., Fandiño M., Martínez E.M., Rey B.J. y Cancela J.J., 2013. Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego. En: *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo Vol. XI - ZNS'13*. Lugo, España, p. 57-62.
- Farzamian, M., Monteiro Santos, F.A. y Khalil M.A, 2015. Application of EM38 and ERT methods in estimation of saturated hydraulic conductivity in unsaturated soil. *J. Appl Geophys.* 112: 175-189.
- Friedman S. P, 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Comput. Electron. Agr.* 46: 45-70.
- Hillel, D., 1998. *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic Press.
- Horn, R., Fleige H., 2003. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil Till Res.* 73: 89-99.
- IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports No. 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Loke, M.H, 2011. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. En: www.geoelectrical.com.
- Rossi, R., Amato M., Bitella G. y Bochicchio R, 2013. Electrical resistivity tomography to delineate greenhouse soil variability. *Int. Agrophys.*13, 27: 211-218.
- Samouëlian, A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A. y Richard G, 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res.* 83: 173-193.
- Seladji, S., Cosenza P., Tabbagh A., Ranger, J. y Richard, G, 2010. The effect of compaction on soil electrical resistivity: a laboratory investigation, *Eur. J. Soil Sci.*, 61,6: 1365-2389.



Comparação de níveis de populações microbianas em solos não mobilizados e em solos mobilizados

Comparação de níveis de populações microbianas em solos não mobilizados e em solos mobilizados

Comparison of microbial population levels in no tilled and tilled soils

António Pinto

Resumo

No presente estudo apresentam-se os resultados preliminares obtidos no verão de 2014, nos solos da Quinta da Alagoa, onde se encontra instalada a Escola Superior Agrária de Viseu, relativos aos níveis populacionais de microrganismos avaliados num solo não mobilizado (olival conduzido sem mobilizações há mais de 10 anos) e aos níveis populacionais avaliados numa outra parcela do mesmo solo sujeita às práticas convencionais de mobilização.

Os grupos microbianos avaliados foram a designada flora microbiana total e os fungos. A avaliação quantitativa dos dois grupos de microrganismos mencionados foi realizada em três diferentes profundidades do solo ao longo do perfil: 0-25 cm; 25-50 cm e 50-75 cm.

O método de avaliação quantitativa adotado foi o método da contagem em placa, utilizando-se para a flora microbiana total o meio de cultura Plate Count Agar suplementado com 10% de extrato de terra e, para os fungos, o meio e cultura Sabouraud Caf Agar também suplementado com 10% de extrato de terra.

Os resultados expressos em unidades formadoras de colónias por grama de solo revelaram uma tendência clara para o aumento dos níveis populacionais dos microrganismos no solo não mobilizado, relativamente ao solo mobilizado. Esta tendência manifestou-se com maior intensidade nas camadas profundas do solo (50-75 cm), tendo-se registado níveis populacionais de fungos, cerca de 50 vezes superiores no solo não mobilizado, relativamente ao mobilizado. O nível da flora microbiana total observado à mesma profundidade no solo não mobilizado excedeu em cerca de 4,2 vezes o valor encontrado no solo mobilizado.

Refira-se que estes resultados são apenas de um ano, sendo que este estudo irá ser continuado durante os próximos anos, a fim de se retirarem conclusões definitivas.

Palavras-chave: Flora microbiana total, fungos, solo mobilizado, solo não mobilizado.

¹ Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal. CI&DETS (Centro de Estudos em Educação Tecnológicas e Saúde). apinto@esav.ipv.pt

Abstract

This study presents the preliminary results obtained in summer 2014 in soils of Quinta da Alagoa, Agrarian School of Viseu, for the population levels of microorganisms evaluated in no-tilled soil (olive grove without tillage over 10 years) and in another portion of the same soil but subjected to conventional tillage practices.

The evaluated parameters were the total microbial flora and fungi. The quantitative evaluation of the two groups was performed in three different soil depths along the profile: 0-25 cm; 25-50 and 50-75 cm.

The quantitative evaluation was made by the plate count method, using the Plate Count Agar medium, supplemented with 10% soil extract, for the total microbial flora and the Sabouraud Caf Agar medium, also supplemented with 10% soil extract, for fungi.

The results expressed in colony forming units per gram of soil, showed a clear tendency to the increase in population levels of microorganisms in no tilled soil, when compared with tilled soil. This increase was more pronounced in deep soil layers (50-75 cm), where the population levels of fungi were approximately 50 times higher in no tilled than in tilled soils. The levels of total microbial flora observed at the same depth in no tilled soil exceeded about 4.2 times the value registered in tilled soil.

The presented results refer only the first experimental year, and the study will be continued over the next years in order to obtain consistent conclusions.

Keywords: total microbial flora, fungi, tilled soil, no tilled soil.

Introdução

Os sistemas intensivos de produção agrícola assentam na utilização do solo, da água, da atmosfera e do património genético vegetal e animal, à procura de um aumento da produtividade e do rendimento, através da utilização de práticas culturais intensas e muito invasivas, como é o caso da mobilização dos solos.

O solo agrícola é o recurso natural que importa preservar, pois trata-se de um recurso natural onde assenta, praticamente, a totalidade da produção vegetal e pecuária e que se forma por processos complexos demasiado lentos.

As intervenções desadequadas e irresponsáveis no solo podem levar a perdas significativas das suas camadas aráveis ou à perda da sua aptidão agrícola e nível de fertilidade e qualidade.

A fertilidade do solo assenta numa qualidade saudável que é um conceito abrangente e que se refere ao equilíbrio entre os factores bióticos e abióticos. Para a avaliação da qualidade de um solo têm sido postulados diversos parâmetros que sejam indicadores do seu estado de conservação e/ou degradação (Zilli *et al.*, 2003).

De entre os indicadores da qualidade de um solo destacam-se as populações microbianas através da sua quantidade e diversidade. As metodologias mais modernas para avaliação da quantidade e diversidade das populações microbianas do solo assentam na utilização dos métodos moleculares e na optimização de modelos funcionais (Zilli *et al.*, 2003, Kandeler, 2007, Thies, 2007).

Neste trabalho iremos apresentar os resultados preliminares relativos aos níveis da flora microbiana total e de fungos ao longo do perfil do solo, utilizando métodos clássicos de avaliação baseados na cultura de microrganismos para tentar perceber como a mobilização, comparada com a não mobilização, os podem afectar e assim, alterar a qualidade dos solos.

Material e Métodos

Os resultados preliminares aqui apresentados foram obtidos no verão de 2014, nos solos da Quinta da Alagoa, onde se encontra instalada a Escola Superior Agrária de Viseu, são relativos aos níveis populacionais de microrganismos avaliados num solo não mobilizado (olival conduzido sem mobilizações há mais de 10 anos) e aos níveis populacionais avaliados numa outra parcela do mesmo solo sujeita às práticas convencionais de mobilização.

A flora microbiana total e os fungos foram avaliados em duas parcelas de solo, uma não sujeita a mobilização há mais de 10 anos (olival) e a outra sujeita às práticas convencionais de mobilização.

O método de avaliação quantitativa adotado foi o método da contagem em placas (Kandeler, 2007), utilizando-se para a flora microbiana total o meio de cultura Plate Count Agar, suplementado com 10% de extrato de terra, tendo por base a norma ISO: 4833 (2003) e para os fungos, o meio e cultura Sabouraud Caf Agar também suplementado com 10% de extrato de terra, tendo por base a norma ISO: 21527-1 (2008).

A avaliação quantitativa dos dois grupos de microrganismos mencionados foi realizada em três diferentes profundidades do solo ao longo do perfil: 0-25 cm; 25-50 cm e 50-75 cm. As amostras foram recolhidas asseticamente, com o auxílio de uma sonda (Figura 1) e transportadas para o laboratório para serem processadas. Os resultados expressos em UFC/g (unidades formadoras de colónias por grama de solo) foram determinados na terra fina (≤ 2 mm) e aferidos à matéria seca.



Fig. 1 – Colheita de amostras

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos relativamente aos níveis populacionais da flora microbiana total ao longo do perfil do solo encontram-se na Figura 2.

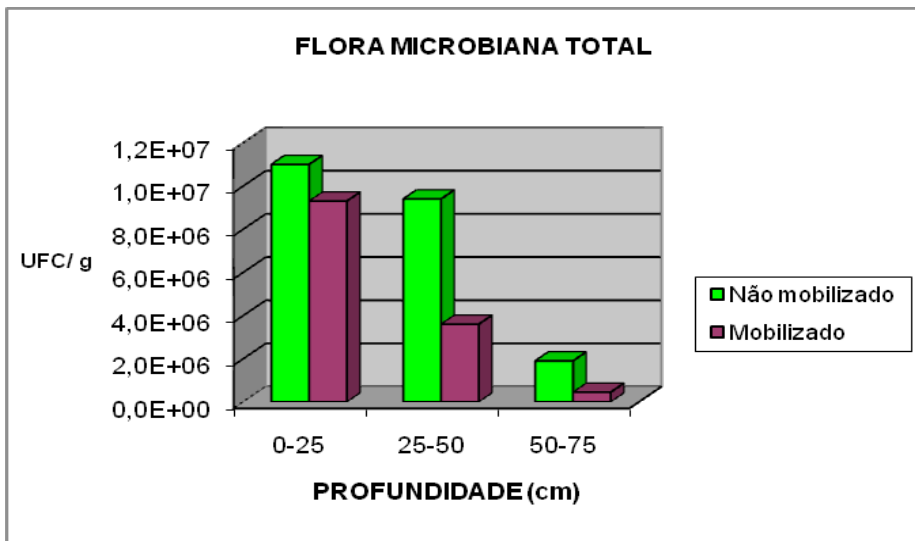


Fig. 2 – Evolução da flora microbiana total ao longo do perfil, no solo não mobilizado e no solo mobilizado. UFC, Unidades formadoras de colónias.

Da análise da Figura 2, pode inferir-se que existe um decréscimo da flora microbiana total, ao longo do perfil, tanto no solo não mobilizado como no solo mobilizado, sendo que, em cada profundidade, os níveis populacionais registados no solo mobilizado tendem a ser claramente mais baixos que os registados no solo não mobilizado.

Os decréscimos observados na flora microbiana total no solo mobilizado, relativamente ao solo não mobilizado, cifraram-se em cerca de 15%, 62% e 76%, às

profundidades de 0-25 cm; 25-50 cm e 50-75 cm, respetivamente.

Na Figura 3 encontram-se os resultados obtidos relativamente às populações de fungos, registadas no solo não mobilizado e no solo mobilizado.

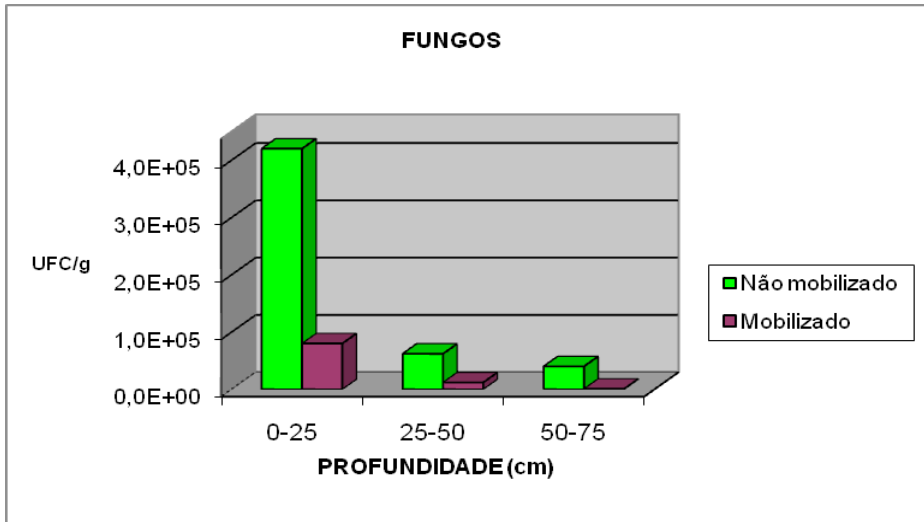


Fig. 3 – Evolução das populações de fungos ao longo do perfil, no solo não mobilizado e no solo mobilizado. UFC, Unidades formadoras de colónias.

Da análise da Figura 3, pode inferir-se que, ao longo do perfil, o padrão dos níveis populacionais dos fungos foi idêntico ao da flora microbiana total, ou seja, verificou-se também um decréscimo das populações de fungos, tanto no solo não mobilizado como no solo mobilizado. Para cada profundidade, os níveis populacionais registados no solo mobilizado tendem a ser claramente mais baixos que os registados no solo não mobilizado.

Os decréscimos observados na população de fungos no solo mobilizado, relativamente ao solo não mobilizado, cifraram-se em cerca de 81%, 81% e 98%, às profundidades de 0 - 25 cm; 25 - 50 cm e 50 -75 cm, respetivamente.

Estes resultados foram concordantes com o conhecimento que tem sido produzido sobre este assunto (Martin, 1991, Silveira e Freitas, 2007, Hoorman e Islam, 2010, Smith e Collins, 2007) e que confirmam que as técnicas de mobilização intensas do solo afectam negativamente as populações microbianas, tanto em quantidade como em diversidade e, portanto, contribuem para uma diminuição da fertilidade e da qualidade dos solos.

Resultados recentes confirmam também a importância funcional de bactérias e fungos no solo, na melhoria da sua estrutura, tendo-se encontrado relações muito positivas entre a actividade fúngica do solo e a formação e estabilização dos macro agregados (Helfrich *et al.*, 2015).

Conclusões

Estes resultados, embora preliminares, indicam que a mobilização continuada do solo diminui a flora microbiana total, pelo menos no que respeita à sua fracção cultivável.

No caso dos fungos, o efeito da mobilização foi ainda mais severo no que respeita à redução das suas populações.

Recomenda-se assim, sempre que possível e, em igualdade de circunstâncias, o recurso à não mobilização do solo.

Agradecimentos

Agradecemos à Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viseu, CI&DETS (Centro de Estudos em Educação, Tecnologias e Saúde) e à Comissão Organizadora e Científica do EACS15.

Referências

- Helfrich, M., Ludwig, B., Thoms, C., Gleixner G. e Flessa, H., 2015. The role of soil fungi and bacteria in plant litter decomposition and macroaggregate formation determined using phospholipid fatty acids. *Applied Soil Ecology*, 96; 261 - 264.
- Hoorman, J.J. e Islam, K., 2010. Understanding soil microbes and nutrient recycling. Fact Sheet: Agricultural and Nature Resources. Ohio State University, 5 p.
- ISO: 4833, 2003. Microbiology of food and animal feeding stuffs – horizontal method for the enumeration of microorganisms – colony count technique at 30 °C. International Standard Organization, 9 p.
- ISO: 21527-1, 2008. Microbiology of food and animal feeding stuffs – horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - colony count technique in products with water activity greater than 0.95. International Standard Organization, 8 p.
- Kandeler, E., 2007. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In: Paul, E.A. (Ed). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 3rd Edition, Amsterdam, p.53 - 83.
- Martin, A., 1991. *Introduction to Soil Microbiology*. 2nd edition. Krieger Publishing Company, Florida, 320 p.
- Silveira, A.P.D. e Freitas, S.S., 2007. *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiente*. Instituto Agronômico de Campinas, 312 p.
- Smith J.L. e Collins H. P., 2007. Management of organisms and their process in soil. In: Paul, E.A. (Ed). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 3rd Edition, Amsterdam, p.421 - 502.
- Thies, J.E., 2007. Molecular methods for studying soil ecology. In: Paul, E.A. (Ed). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 3rd Edition, Amsterdam, p.85 - 118.
- Zilli, J.E., Rumjanek, N.G., Xavier, G.R., Coutinho, H.L.C. e Nreves, M.C.P., 2003. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 20; 391 - 411.



Análise exploratória da diversidade no uso da terra no perímetro de rega do Roxo

Análise exploratória da diversidade no uso da terra no perímetro de rega do Roxo

Exploratory analysis of land use diversity in the Roxo irrigation perimeter

Carlos Alexandre^(1,2), Manuela Correia⁽¹⁾, José Pinto Casquilho⁽³⁾

Resumo

Neste trabalho apresenta-se uma análise da relação entre as culturas e os solos do perímetro de rega do Roxo em dois momentos com quase 10 anos de intervalo, 2005 e 2014, utilizando-se medidas de diversidade para indagar da evolução e de tendências no ordenamento do uso da terra. Em termos gerais constata-se que apesar da área regada ter passado quase para o dobro no período considerado, se observa um notável decréscimo percentual nas culturas cerealíferas, em parte substancial compensado pelo incremento em olival e oleaginosas, associado a uma maior diversidade cultural em geral. O estudo global da evolução da diversidade no período referido indica que ocorreu um ligeiro decréscimo quando se considera a distribuição das famílias de solos por cultura(s) e, pelo contrário, um ligeiro acréscimo quando se coloca a diversidade de solos agrupados por limitações, também por cultura(s). O estudo indica que apesar da boa plasticidade de algumas culturas (ex.: olival) e da mitigação de algumas limitações do solo (ex.: regadio), é de esperar que vigore uma produtividade e/ou uma rendibilidade média na área do perímetro de rega inferior ao seu potencial.

Palavras-chave: solo, uso da terra, índices de diversidade, regadio

Abstract

This paper presents an analysis of the relationship between cultures and mapped soils relative to Roxo irrigation area in two stages with almost 10 years apart,

¹ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Apdo. 94, 7002-554 Évora, Portugal. cal@uevora.pt

²Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Apdo. 94, 7002-554 Évora, Portugal

³Programa de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Nacional Timor Lorosa'e; Centro de Ecologia Aplicada "Prof. Baeta Neves" da Universidade de Lisboa.

in 2005 and 2014, using a range of measures to investigate the evolution and trends in land use planning. In general, it appears that despite the irrigated area has almost doubled in the period considered, it is observed a remarkable decrease percentage in cereal crops in substantial part offset by the increase in olive groves and oilseeds, associated with a greater cultural diversity in general. The overall study of the evolution of diversity in that period indicates that there was a slight decrease when considering the distribution of culture(s) for soil families and, conversely, a slight increase when evaluating the diversity of grouped soil by limitations, also by culture(s). The study shows that despite the good plasticity of some cultures (e.g. olive groves) and progress in mitigating some soil limitations (e.g. irrigation), it is expectable that its effective productivity and / or average yield in the perimeter area is less than its potential.

Keywords: soil, land use, diversity indexes, irrigation

Introdução

Embora a Carta de Solos de Portugal (1:50 000) seja uma ferramenta de ordenamento do uso da terra ao nível regional, disponível há mais de 40 anos, é pouco conhecida a sua utilização na tomada de decisão de instalação e gestão de culturas agrícolas. Neste trabalho apresenta-se uma análise da relação entre as culturas e os solos do perímetro de rega do Roxo em dois momentos com quase 10 anos de intervalo: 2005 e 2014.

Os índices de diversidade têm sido largamente aplicados em estudos de biodiversidade, filogenéticos (Chao *et al.*, 2014), de diversidade paisagística (Casquilho, 2015) e também de caracterização da pedodiversidade ou diversidade de solos (Ibáñez *et al.*, 1995; Minasmy *et al.*, 2010). Contudo não têm sido aplicados no estudo da relação entre os usos da terra e, em particular, de culturas agrícolas com os solos de uma dada área. Neste estudo procura-se avaliar o interesse destes índices (Quadro 1) como indicadores de relações privilegiadas entre os solos e as culturas que neles são praticadas, de modo a testar o seu potencial como indicadores da qualidade do ordenamento do uso da terra. Para este efeito recorreu-se ao perímetro de rega do Roxo como estudo de caso.

Material e Métodos

A área do perímetro de rega do Roxo situa-se na bacia do Sado, entre Ferreira do Alentejo, a norte, e Aljustrel, a sul (Figura 1). Para este estudo utilizaram-se as cartas das culturas dos anos 2005 e 2014 disponibilizados pela Associação dos Beneficiários do Roxo. Agregaram-se algumas culturas com menor representativi-

dade chegando-se à seguinte lista de 13 culturas e classes de culturas: amendoeira, arroz, cereais, citrinos, gramíneas forrageiras, hortícolas, leguminosas, milho, oleaginosas, olival, perenes, tubérculos e tomate (Tabela 2).

Para os solos da área em estudo utilizaram-se duas listas diferentes: a) famílias de solos representadas na Carta dos Solos de Portugal (SROA, 1970); b) classes de solos correspondentes a agrupamentos das famílias de acordo com as suas principais limitações, inferidas a partir das características de cada família e das suas respectivas fases, quando existem. Para a elaboração da lista b) admitiram-se os seguintes tipos de limitações: i) ao desenvolvimento das raízes; ii) de nutrientes (texturas grosseiras ou presença de carbonatos); iii) ao arejamento; iv) de água e de nutrientes (texturas grosseiras ou presença de carbonatos). Definiu-se ainda uma classe de famílias de solos sem limitações evidentes. A aplicação desta tipologia permitiu reduzir as famílias de solos presentes na área em estudo (36 em 2005 e 38 em 2014, incluindo fases) para um total de 7 classes (Tabela 3). Considerou-se preferível aplicar critérios genéricos de diferenciação dos solos em vez da aplicação das classes da Carta de Capacidade de Uso do Solo (SROA, 1972), também disponível para o perímetro de rega do Roxo, atendendo que esta classificação foi pensada para culturas arvenses de sequeiro, o que contrasta com a grande diversidade de culturas disponíveis na área de regadio em causa.

Estudou-se a relação entre solos e culturas com índices de diversidade (Tabela 1): baseados em Shannon (1948): índice de Shannon H , índice de Shannon normalizado H' ou J' de Pielou (1966) e número N_1 de Hill (1973); e em Simpson (1949): índice de Gini-Simpson D , índice de Gini-Simpson normalizado D' e número N_2 de Hill; ainda se utilizou a medida de equitabilidade $F_{2,1}$ de Alatalo (1981). Por analogia com os estudos de biodiversidade pode considerar-se que N_1 indica o número de classes de solo “abundantes” e N_2 o número de classes “muito abundantes”.

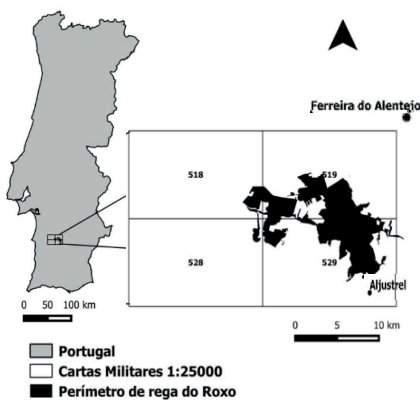


Figura 1 - Localização da área de estudo (perímetro de rega do Roxo)

Tab. 1 - Índices de diversidade usados

Índice	Fórmula	Limites
Shannon (H)	$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$	$(0 \leq H \leq \log n)$
Shannon normalizado (H')	$H' = \frac{H}{\log n}$	$(0 \leq H' \leq 1)$
Gini-Simpson (D)	$D = \sum_{i=1}^n p_i(1 - p_i)$	$(0 \leq D \leq \frac{n-1}{n})$
Gini-Simpson normalizado (D')	$D' = \frac{n}{n-1}$	$(0 \leq D' \leq 1)$
N_1 de Hill	$N_1 = e^H$	$(1 \leq N_1 \leq n)$
N_2 de Hill	$N_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i^2}$	$(1 \leq N_2 \leq n)$
$F_{2,1}$ de Alatalo	$F_{2,1} = \frac{N_2 - 1}{N_1 - 1}$	---

Tab. 2 – Culturas e grupos de culturas em 2005 e 2014 (% da área total*).

Cód.	Legenda	Tipo	2005	2014
Am	Amendoal	(1)	-	6,8
Ar	Arroz	(1)	-	5,9
C	Cereais	(2)	46,8	21,6
Ci	Citrinos	(2)		1,7
GF	Gramíneas Forrageiras	(2)	6,9	4,2
H	Hortícolas	(2)	1,2	0,6
L	Leguminosas	(2)	-	0,9
Mi	Milho	(1)	1,2	3,4
O	Oleaginosas	(2)	0,3	11,3
Ol	Olival	(1)	36,4	41,5
P	Perenes	(2)	1,5	1,5
T	Tubérculos	(2)	2,8	-
To	Tomate	(1)	2,8	0,7

* Área total em 2005: 3 457 ha; 2014: 6 696 ha.

(1) Cultura específica; (2) Grupo de culturas

Tab. 3 – Grupos de solos definidos com base nas suas principais limitações e % da área total.

Cód.	Limitações de:	2005	2014
N	Nutrientes (textura grosseira)	16,4	19,0
Nc	Nutrientes (pela presença de carbonatos)	20,8	13,6
O	Oxigénio (por má drenagem, compactação ou outra)	14,6	21,0
R	Desenvolvimento das raízes 0.1	0,4	
WN	Água (por baixa capacidade de armazenamento) e nutrientes (textura grosseira)	8,4	13,1
WNc	Água (por baixa capacidade de armazenamento) e nutrientes (pela presença de carbonatos)	0,3	1,7
Z	S/ limitações evidentes	39,4	31,2

Os índices foram aplicados como indicadores da diversidade de solos (expressos pelas famílias da Carta dos Solos de Portugal e pelas classes de limitações) para cada classe de culturas e também como indicadores da diversidade das culturas praticadas em cada solo (neste caso os solos são representados apenas pelas classes de limitações).

Resultados e Discussão

Apesar da área regada de 2005 (3 457 ha) passar quase para o dobro em 2014 (6 696 ha) – principalmente pelo aumento de olival (1 256 ha para 2 777 ha), oleaginosas, amendoeira e arroz – a diversidade de solos (famílias) diminuiu ligeiramente (Tabela 4).

Tab. 4 – Diversidade de solos, por famílias, para cada cultura/classe de cultura, em 2005 e 2014. Códigos dos índices no Tabela 1 e das culturas no Tabela 2 (Á.tot., área total).

Índic.	Á.tot.	Am	Ar	C	Ci	GF	H	L	Mi	O	OI	P	T	To
2005														
H	2,79	-	-	2,46	-	1,26	2,22	-	1,57	0,83	2,22	1,91	1,73	1,56
H'	0,78	-	-	0,69	-	0,35	0,62	-	0,44	0,23	0,62	0,53	0,48	0,44
D	0,91	-	-	0,89	-	0,66	0,86	-	0,75	0,47	0,80	0,83	0,78	0,74
D'	0,94	-	-	0,91	-	0,68	0,88	-	0,78	0,48	0,82	0,86	0,80	0,77
N1	16,29	-	-	11,67	-	3,51	9,21	-	4,80	2,28	9,18	6,72	5,63	4,76
N2	11,54	-	-	8,72	-	2,98	6,94	-	4,07	1,89	4,94	5,97	4,45	3,92
F2,1	0,69	-	-	0,72	-	0,79	0,72	-	0,81	0,69	0,48	0,87	0,74	0,78
2014														
H	2,65	1,66	1,59	2,47	1,93	2,04	2,32	1,77	2,05	2,05	2,70	1,98	-	1,31
H'	0,73	0,45	0,44	0,68	0,53	0,56	0,64	0,49	0,56	0,56	0,74	0,54	-	0,36
D	0,90	0,68	0,72	0,88	0,81	0,82	0,89	0,78	0,85	0,79	0,91	0,82	-	0,71
D'	0,92	0,70	0,74	0,91	0,83	0,84	0,91	0,80	0,87	0,81	0,93	0,85	-	0,73
N1	14,14	5,23	4,89	11,77	6,87	7,71	10,17	5,88	7,74	7,78	14,88	7,23	-	3,72
N2	9,76	3,14	3,53	8,46	5,35	5,47	8,76	4,49	6,69	4,67	10,61	5,70	-	3,47
F2,1	0,67	0,51	0,65	0,69	0,74	0,67	0,85	0,71	0,84	0,54	0,69	0,75	-	0,91

Em contrapartida, a diversidade de solos avaliada pelas suas limitações revela um ligeiro aumento de 2005 para 2014 em todos os índices (Tabela 5 e Fig. 2B). Em 2014 a área de regadio apresenta uma distribuição dos solos pelas classes de limitações mais equitativa do que em 2005, ao contrário do que se verifica com as famílias de solos.

Tab. 5 – Diversidade de solos, por limitações, para cada cultura / classe de cultura, em 2005 e 2014. Códigos dos índices no Tabela 1 e das culturas no Tabela 2 (Á.tot., área total).

Índic.	Á.tot.	Am	Ar	C	Ci	GF	H	L	Mi	O	OI	P	T	To
2005														
H	1,51	-	-	1,36	-	1,08	1,29	-	1,08	0,83	1,31	0,88	1,01	0,43
H'	0,77	-	-	0,70	-	0,56	0,67	-	0,55	0,42	0,67	0,45	0,52	0,22
D	0,75	-	-	0,69	-	0,64	0,61	-	0,63	0,47	0,68	0,55	0,55	0,20
D'	0,87	-	-	0,80	-	0,74	0,71	-	0,74	0,55	0,79	0,64	0,64	0,23
N1	4,51	-	-	3,89	-	2,95	3,65	-	2,94	2,28	3,72	2,42	2,74	1,53
N2	3,94	-	-	3,20	-	2,74	2,58	-	2,72	1,89	3,10	2,20	2,23	1,24
F2,1	0,84	-	-	0,76	-	0,89	0,60	-	0,89	0,69	0,77	0,85	0,71	0,46
2014														
H	1,64	1,16	1,12	1,57	1,32	1,42	1,16	1,43	1,26	1,49	1,54	1,46	-	0,46
H'	0,84	0,60	0,57	0,81	0,68	0,73	0,59	0,73	0,65	0,76	0,79	0,75	-	0,24
D	0,79	0,58	0,65	0,76	0,72	0,71	0,61	0,70	0,66	0,72	0,77	0,75	-	0,29
D'	0,92	0,68	0,76	0,88	0,84	0,83	0,72	0,82	0,77	0,84	0,89	0,87	-	0,33
N1	5,13	3,19	3,05	4,81	3,74	4,12	3,18	4,17	3,54	4,43	4,65	4,30	-	1,59
N2	4,68	2,39	2,86	4,09	3,54	3,46	2,59	3,37	2,91	3,55	4,26	3,99	-	1,40
F2,1	0,89	0,64	0,91	0,81	0,93	0,79	0,73	0,75	0,75	0,74	0,89	0,90	-	0,69

De um modo geral verificam-se tendências equivalentes em todos os índices usados (Tabelas 4, 5 e 6). Detalha-se o índice de Shannon normalizado como indicador da diversidade dos solos (Figura 2) e das culturas (Figura 3).

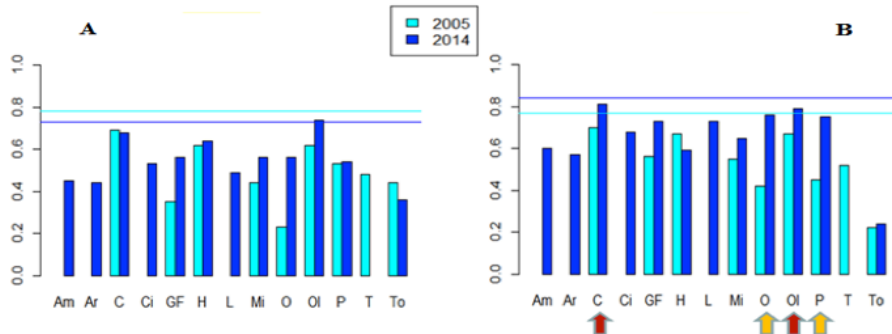


Fig. 2 – Diversidade de solos por famílias (A) e por limitações (B) para cada cultura, pelo índice de Shannon normalizado ($0 \leq H' \leq 1$). Rectas indicam valores para a área total e setas os maiores aumentos, que incluem as culturas mais representadas em 2014 (Oi, C e O – Tabela 2).

Tab. 6 – Diversidade de culturas para cada classe de limitações, em 2005 e 2014. Códigos dos índices no Quadro 1 e das limitações no Quadro 3.

Índ.	Á.tot.	N	Nc	O	R	WN	WNc	Z
2005								
H	1,30	1,15	0,70	1,08	0,65	1,35	1,05	1,16
H'	0,59	0,53	0,32	0,49	0,30	0,61	0,48	0,53
D	0,64	0,60	0,38	0,54	0,35	0,69	0,61	0,59
D'	0,72	0,67	0,42	0,60	0,40	0,78	0,69	0,66
N1	3,67	3,17	2,02	2,95	1,92	3,85	2,85	3,17
N2	2,79	2,48	1,60	2,15	1,54	3,24	2,59	2,42
F2,1	0,67	0,68	0,59	0,59	0,59	0,79	0,86	0,65
2014								
H	1,78	1,79	1,39	1,76	0,84	1,09	1,40	1,72
H'	0,72	0,72	0,56	0,71	0,34	0,44	0,56	0,69
D	0,76	0,76	0,69	0,77	0,49	0,44	0,72	0,74
D'	0,83	0,83	0,76	0,84	0,54	0,48	0,78	0,80
N1	5,92	5,98	4,00	5,79	2,32	2,96	4,04	5,56
N2	4,12	4,25	3,28	4,33	1,97	1,77	3,53	3,82
F2,1	0,63	0,65	0,76	0,69	0,74	0,39	0,83	0,62

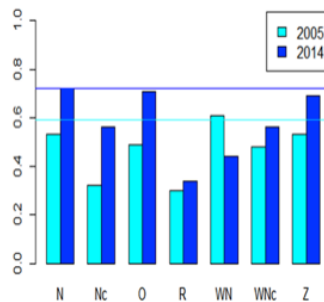


Fig. 3 – Diversidade de culturas para cada classe de limitações do solo, expressa pelo índice de Shannon normalizado ($0 \leq H' \leq 1$). As rectas horizontais representam valores para a área total em cada ano. Códigos das limitações do solo na Tabela 3.

As culturas dominantes em 2005 (cereais e olival, 83%) e em 2014 (olival e cereais, 63%) apresentaram muito alta diversidade de solos, quase equivalente à diversidade para a área total do perímetro de rega, tanto por famílias como por limitações. A Figura 3 facilita a leitura da diversidade das culturas pelas diferentes classes de limitações de solos. Seria expectável que a classe Z (“zero” limitações) pudesse apresentar a maior diversidade de culturas ($H' \sim 1$, caso todas ocupassem áreas iguais). Embora a classe Z apresente valores de H' muito altos em 2014, as classes de limitações N e O (solos de textura grosseira e solos com má drenagem) apresentam valores ainda mais altos. As classes de limitações N, O e Nc registaram um grande aumento de H' de 2005 para 2014 e, dado que representam mais de 50% da área total em 2014, pode interpretar-se este aumento como o resultado da expansão da área de regadio e a uma maior heterogeneidade na correspondência entre os solos disponíveis e as culturas praticadas.

Conclusões

Embora os índices aplicados não permitam valorar a alocação de cada cultura a cada unidade de terra e ao respectivo solo, uma grande diversidade de solos em que se pratica a mesma cultura, bem como uma grande diversidade de culturas para a mesma classe de solos, indicia pouco planeamento do uso da terra. Como consequência, e apesar da boa plasticidade de algumas culturas (ex.: olival) e da mitigação de algumas limitações do solo e do clima (ex.: regadio), é de esperar uma produtividade e/ou uma rendibilidade média na área do perímetro de rega inferior ao seu potencial.

Agradecimentos

Estudo financiado pelo projecto PRODOR N° 50370 “Qualidade da água da albufeira do Roxo na dinâmica dos solos e das culturas agrícolas (QARSC)” em colaboração com a Associação dos Beneficiários do Roxo, a cuja equipa se agradece os dados fornecidos.

Referências

- Alatalo, R.V., 1981. Problems in the measurement of evenness in Ecology. *Oikos* 37(2), 199-204.
- Casquilho, J.P., 2015. Cenários de composição do ecomosaico florestal obtidos com maximização de utilidade esperada e entropia ponderada. *Revista Veritas*, 3(1): 23-37.
- Chao, A., Chiu, C.-H., Jost, L., 2014. Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 45: 297-324.

- Hill, M.O., 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology* 54(2), 427-432.
- Ibáñez, J.J., De-Alba, S., Bermúdez, F.F., García-Álvarez, A., 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena* 24, 215-232.
- Minasny, B., McBratney, A.B., Hartemink, A.E., 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. *Geoderma* 155,132-139.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13, 131-144.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423, 623-656.
- Simpson E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- SROA. 1970. Carta dos Solos de Portugal. 6.^a Ed., Vol. I: Classificação e caracterização morfológica dos solos. Serv. de Reconhec. e Ord. Agrário, Sec. Est. da Agric. Lisboa.
- SROA. 1972. Carta de Capacidade de Uso do Solo. Bases e normas adoptadas na sua elaboração. 6.^a Ed. Boletim de Solos n.º 12. SROA, Sec. Estado da Agricultura. Lisboa.



Avaliação temporal do efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo, em áreas de montanha com matos

Avaliação temporal do efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo, em áreas de montanha com matos

Temporal evaluation of the effect of controlled fire, in soil's chemical properties, in mountain areas covered with bushes

Clotilde Nogueira¹, Felícia Fonseca² e Tomás Figueiredo²

Resumo

Atualmente os fogos florestais constituem um grave problema nos ecossistemas mediterrâneos. O abandono das áreas rurais tem contribuído para a acumulação de biomassa combustível. Uma das técnicas aplicadas na gestão da vegetação nestes espaços é o fogo controlado. O fogo reduz ou elimina temporariamente a cobertura vegetal e diversas alterações podem ocorrer ao nível das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas do solo. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo estudar a evolução temporal do efeito do fogo controlado de baixa severidade em áreas de montanha cobertas com matos, em propriedades químicas do solo.

O estudo decorreu no Parque Natural de Montesinho (Aveleda), que ocupa uma área aproximada de 75000 ha, sendo que cerca de 1/3 desta área está coberta por matos. A amostragem realizou-se numa área de matos com cerca de 5 ha que foi sujeita a fogo controlado. Em sete locais, distribuídos aleatoriamente foram colhidas amostras de solo antes, imediatamente após, dois meses, seis meses e três anos após o fogo controlado nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Os resultados obtidos na situação imediatamente após o fogo mostram uma diminuição dos teores das bases de troca e um aumento dos teores de matéria orgânica, potássio e fósforo extraíveis, condutividade elétrica e acidez de troca. Três anos após o fogo constata-se que as propriedades químicas do solo tenderam a evoluir para a situação pré fogo.

Palavras-chave: fogo controlado; propriedades químicas do solo

¹ Centro Ciência Viva de Bragança, Edifício Principal, Rua do Beato Nicolao Dinis, 5300-130 Bragança. Portugal. clotildenog@gmail.com

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (ESAB/IPB), Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal

Abstrat

Currently, forest fires are a serious problem in the Mediterranean ecosystems. The abandonment of the rural areas has led to the accumulation of biomass fuel. One of the techniques applied in the management of vegetation in forest areas is the controlled fire.

The fire temporarily reduces or eliminates the vegetal covering of the ground and several alterations may occur in the physical, chemical, mineralogical and biological properties of the soil. This work aims to evaluate the temporal evolution of the effect of controlled low severity fire in mountain areas covered with bushes in soil's chemical properties.

The study took place in Montesinho Natural Park (Aveleda), which possesses a surface of about 75000 ha, being approximately one-third occupied by bushes. Sampling took place in an area with approximately 5ha, occupied by bushes, which was subjected to controlled fire. In seven different locations, randomly scattered, soil samples were collected immediately after de fire, two months, six months and three years after the controlled fire, at different depths: 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm.

The results obtained in the situation immediately after the prescribed fire, show that there is a reduction in the exchange bases and the content of organic matter, potassium and extractable phosphorus, electrical conductivity, exchange acidity increased after the fire. Three years after the fire can be seen that the chemical properties of the soil tended to progress to pre fire situation.

Keywords: controlled fire; chemical properties of the soil

Introdução

O fogo é um elemento natural na maioria dos ecossistemas terrestres, sendo dele dependentes os ecossistemas mediterrâneos (Mataix-Solera et al., 2009). Contudo, atualmente os fogos florestais transformaram-se num grave problema nos países sob influência de clima mediterrâneo, onde anualmente ocorre uma estação seca acompanhada de temperaturas elevadas, condições que se revelam propícias à deflagração e propagação dos fogos florestais (Mataix-Solera, 1999). No nosso país, para além das condições climáticas, contribuem também para agravar o problema o abandono das zonas rurais, que incrementam a acumulação de biomassa, assim como a existência de uma estratégia pouco eficiente na prevenção e combate dos incêndios florestais (Fernandes, 2009).

Na passagem do fogo a cobertura vegetal do solo é eliminada temporariamente, alterando as condições de superfície, o que interfere com os processos erosivos hidrológicos, fatores que influenciam a evolução dos ecossistemas (Mataix-Solera e Cerdà, 2009a). Certini (2005) refere que diversas alterações podem ocorrer nas

propriedades do solo como consequência da passagem do fogo florestal, sendo elas de natureza física, química, mineralógica e biológica.

É urgente adotar medidas que dificultem a propagação dos incêndios. A ciência florestal tem desenvolvido investigação científica no domínio da silvicultura preventiva e gestão de combustíveis, na qual se inclui a técnica do fogo controlado, também designado por fogo prescrito (Fernandes, 2006). Com a sua aplicação pretende-se reduzir e modificar, a quantidade e o arranjo estrutural da vegetação, com vista a diminuir a intensidade de um incêndio (Fernandes, 2006).

O fogo controlado não é um incêndio, sendo a intensidade do fogo a diferença básica entre eles. É esta característica que determina se o fogo traz benefícios ou se é apenas destruidor (Úbeda et al., 2009). Quando se aplica a técnica do fogo controlado, este deve ser de baixa intensidade e conduzido de forma a não se propagar livremente (Úbeda et al., 2009). Na execução desta técnica de gestão de combustíveis, o fogo desenvolve baixas intensidades, provocando alterações não significativas nas propriedades do solo, ao contrário dos incêndios de severidade alta que podem provocar impactes negativos no solo (Certini, 2005). Os efeitos do fogo controlado no solo continuam a ser objeto de estudo.

Com este estudo pretendeu-se contribuir com mais informação sobre os efeitos do fogo controlado em propriedades químicas do solo, ao longo do tempo e a diferentes profundidades, para tal foram realizadas colheitas de amostras de solo, não periódicas ao longo de três anos.

Material e métodos

O local em estudo situa-se dentro da área do Parque Natural de Montesinho (PNM), que possui 75000 ha, estando cerca de um terço ocupado por matos. O estudo decorreu em Aveleda, numa área com cerca de 5 ha, ocupada por matos, que foi sujeita a fogo controlado, onde foram colhidas amostras de solo em sete locais distribuídos aleatoriamente: (1) antes do fogo controlado (ATF); (2) imediatamente após o fogo controlado (IAPF); (3) dois meses (DMAPF); (4) seis meses (SMAPF) e (5) três anos (TAAPF) após a aplicação da técnica.

Antes do fogo controlado, foi avaliada a abundância relativa da vegetação arbustiva na área de amostragem, verificando-se que 44% da superfície era ocupada por urze (*Erica australis*), 30% por carqueja (*Chamaespartium tridentatum*) e 26% por esteva (*Cystus ladanifer*), e uma evidente dominância das espécies representativas dos principais grupos de matos do PNM (IPB/ICN, 2007; Figueiredo, et al., 2013). Enquanto decorreu a queima da vegetação, foram avaliados diversos parâmetros definidos por Hungeford (1996), tais como as temperaturas à superfície e 5 cm abaixo da mesma, assim como, a profundidade de combustão do horizonte orgânico e os restos de vegetação que não sofreram combustão completa, imediatamente após a passagem do fogo. A análise dos vários parâmetros observados permitiu concluir que o fogo controlado foi de baixa severidade (Figueiredo et al.,

2012, Figueiredo et al., 2013).

As amostras de solo foram colhidas nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, posteriormente foram secas a 45°C e crivadas, com um crivo de malha 2 mm.

Todas as amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Escola Superior Agrária de Bragança. Na determinação da percentagem de matéria orgânica (% MO), utilizou-se o método de Walkley-Black (Combs e Nathan, 1998). Os valores de pH do solo foram obtidos por determinação potenciométrica, em suspensões de solo:H₂O e solo:KCl (1:2,5), pelo método descrito por van Reeuwijk, L. (2002). O fósforo (P₂O₅) e o potássio (K₂O) extraíveis foram analisados pelo método Egnér-Riehm, descrito no documento do Ministério da Agricultura e Pescas (1977).

Os valores do fósforo foram obtidos recorrendo a espectrofotometria de absorção molecular. Os valores do potássio foram determinados por espectrofotometria de emissão de chama. Na análise das bases de troca (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺), procedeu-se à sua extração com uma solução de acetato de amónio, NH₄CH₃COO, de concentração 1M a pH 7,0 (Thomas, 1982). As concentrações das bases no extrato foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica. Na determinação da acidez de troca (AT) e do alumínio de troca (Al³⁺) procedeu-se à sua extração com KCl 1M, seguido de agitação e filtração dos extratos (van Reeuwijk, 2002). A acidez de troca foi determinada por titulação com NaOH, 0,1M e o Al³⁺ por retrotitulação com HCl 0,1 M (van Reeuwijk, 2002). Na determinação da condutividade elétrica (CE), a amostras de 20 g de solo foram adicionados 100 mL de água desionizada, após a sua agitação e filtração (Jones, 2001) os valores da CE foram avaliados no condutivímetro.

No tratamento estatístico dos dados foram realizadas análises de variância, e testes de comparação múltipla de médias, recorrendo ao Teste de Tukey (p < 5%), para todas as propriedades determinadas em cada profundidade amostrada, sendo utilizado como fator, o tempo, ou seja, as datas de amostragem. O programa de estatística, utilizado no tratamento dos dados foi o IBM SPSS.

Resultados e discussão

Na tabela 1, apresenta-se a evolução temporal das médias de algumas propriedades químicas do solo. Pela sua análise verifica-se que o teor de matéria orgânica, o fósforo e o potássio extraíveis e a condutividade elétrica, aumentaram após a passagem do fogo, na camada mais superficial, observando-se um padrão de variação semelhante na acidez de troca.

Tab. 1- Resultados da ANOVA e evolução temporal das médias de algumas das propriedades químicas do solo determinadas, na camada 0-5 cm

Profundidade (cm)	Data da colheita	Matéria orgânica (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹)
0-5 cm	AF	8,0a	8,9a	133,9a	60,2a
	IAPF	8,7a	9,6a	135,1a	66,9a
	DMAFP	8,2a	11,6a	88,3a	58,9a
	SMAPF	7,9a	16,0a	89,3a	54,8a
	TAAPF	9,2a	9,8a	127,9a	46,3a

AF- antes do fogo; IAPF- imediatamente após o fogo; DMAFP- 2 meses após o fogo; SMAPF- 6 meses após o fogo; TAAPF- 3 anos após o fogo. Para a mesma propriedade química, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ($p>0,05$).

Na tabela 2, apresentam-se para a profundidade de 0 a 5 cm, os valores médios do grau de saturação em bases (GSB) e os teores do alumínio de troca, antes do fogo, imediatamente após o fogo, 2 meses após o fogo, 6 meses após o fogo e 3 anos após o fogo. Os resultados obtidos neste estudo mostram que o grau de saturação em bases diminuiu após a passagem do fogo na camada mais superficial. Verificou-se um aumento no teor de alumínio de troca após a passagem do fogo. Três anos após o fogo controlado, os valores do grau de saturação em bases e do alumínio de troca, observados na camada 0-5 cm, apresentavam-se significativamente diferentes dos valores determinados antes do fogo.

Tab. 2 - Resultados da ANOVA e evolução temporal das médias do grau de saturação em bases e do teor de alumínio de troca, na camada 0-5 cm.

Profundidade (cm)	Data da colheita	GSB (%)	Alumínio de troca (cmol _c kg ⁻¹)
0-5 cm	AF	77a	0,71a
	IAPF	72a	1,23ab
	DMAFP	67ab	1,35b
	SMAPF	73a	1,20ab
	TAAPF	57b	1,74b

AF- antes do fogo; IAPF- imediatamente após o fogo; DMAFP- 2 meses após o fogo; SMAPF- 6 meses após o fogo; TAAPF- 3 anos após o fogo. Para a mesma propriedade química, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ($p>0,05$).

Na tabela 3, apresentam-se para a camada 0-5 cm, os teores das bases de troca do solo (Ca, Mg, K e Na), antes do fogo, imediatamente após o fogo, 2 meses após o fogo, 6 meses após o fogo e 3 anos após o fogo. Os resultados obtidos neste estudo mostram que na profundidade 0-5 cm, imediatamente após o fogo controlado, se verifica uma diminuição não significativa das bases de troca, com exceção do Na⁺ que aumenta imediatamente após o fogo.

Tab. 3 - Evolução temporal dos teores médios das bases de troca do solo (média±SD) e resultados da ANOVA, na camada 0-5 cm

Profundidade (cm)	Data da colheita	Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)
0-5 cm	AF	3,42a ± 0,95	0,73a ± 0,78	0,32a ± 0,06	0,12a ± 0,02
	IAPF	3,05a ± 1,05	0,64a ± 0,20	0,26a ± 0,05	0,18b ± 0,06
	DMAF	2,61a ± 0,63	0,63a ± 0,25	0,26a ± 0,09	0,08a ± 0,01
	SMAPF	2,79a ± 0,58	0,54a ± 0,12	0,35a ± 0,20	0,09a ± 0,04
	TAAPF	2,23a ± 1,69	0,54a ± 0,27	0,28 ± 0,10	0,12a ± 0,01

AF- antes do fogo; IAPF- imediatamente após o fogo; DMAF- 2 meses após o fogo; SMAPF- 6 meses após o fogo; TAAPF- 3 anos após o fogo. Para a mesma base de troca, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ($p>0,05$).

Os resultados obtidos permitem concluir que o fogo controlado interferiu com as propriedades químicas do solo, que no decorrer do tempo neste estudo, tendem a evoluir para a situação pré-fogo.

Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que apesar da severidade do fogo controlado que afetou a área de amostragem ter sido baixa, ocorreram alterações químicas no solo, uma vez que se observaram diferenças significativas em algumas propriedades químicas do solo. Em todas as profundidades amostradas o grau de saturação em bases, apresentou-se significativamente inferior três anos após o fogo controlado, o valor do alumínio de troca, apresentou-se significativamente superior em todas as profundidades amostradas, 3 anos após o fogo.

Referências bibliográficas

- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143: 1-10.
- Combs, S.M. & Nathan, M. V. 1998. Soil Organic Matter. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. North Central Regional Research Publication n° 221. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001.
- Fernandes, P. 2006. “Silvicultura preventiva e gestão de combustíveis: Opções e otimização”. In *Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, impactes e prevenção*, Edited by: Pereira, JS, Pereira, JMC, Rego, FC, Silva, JMN and Silva, TPD. Lisboa: ISAPress.
- Fernandes, R. C. 2009. Recuperação de solos florestais ardidos com recurso a resíduos orgânicos e sua influência na matéria orgânica do solo. Dissertação de Mestrado apresentada Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. & Queirós, A. 2012. Degradação física do solo em áreas queimadas de matos no nordeste transmontano. Livro de Atas do Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento 2012.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. & Queirós, A. 2013. Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: resultados de um ano de ensaio no Parque Natural de Montesinho. In António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds.) *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas*

- de Recuperação dos Solos. Braga: Universidade do Minho. 267-277.
- Hungerford, R.D. 1996. Soils. Fire in Ecosystem Management Notes: Unit II-I. USDA Forest Service, National Advanced Resource Technology Center, Marana, Arizona.
- Jone, B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. Boca Raton.
- Mataix-Solera, J. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral (ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Mataix-Solera, J. & Cerdà, A. 2009a. Los efectos de los incendios forestales en los suelos en España. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. FUEGORED, Cátedra de Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia, Spain.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Bárcenas, G., Zornoza, R., Pérez-Bejarano, A., Bodí, M., Mataix-Beneyto, J., Gómez, I., García-Orenes, F., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M., Cerdà, A., Doerr, S., Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P., Jordán, A. & Zavala, L. 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Cerdà, A. & Mataix-Solera, J. (Eds), Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental.
- Ministério da Agricultura e Pescas. 1977. Sector Fertilidade do Solo (Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva). Documentação 2. D.G.S.A. – Divulgação.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations.. In A. C. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9, 2nd ed, 159-165. Madison.
- Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P. & Miguel, A. 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Cerdà, A. & Mataix-Solera, J. (Eds), Estudios sobre las consecuencias del fuego en las propiedades del suelo y la erosión en Catalunya. Investigaciones del GRAM(Grupo de Recerca Ambiental Mediterrània).
- van Reeuwijk, L.P. 2002. Procedures for soil analysis. 6th ed ISRIC. FAO.

Impacto da preparação do terreno em indicadores físicos e químicos da qualidade de solos florestais

Site preparation impacts on physical and chemical forest soil quality indicators

Felícia Fonseca¹, Tomás de Figueiredo¹ e Afonso Martins²

Resumo

Na região Mediterrânea é frequente os solos com aptidão florestal apresentarem fraca capacidade de suporte radical, elevado conteúdo de elementos grosseiros e baixo teor em matéria orgânica, o que tende a limitar o armazenamento de água no perfil do solo. Assim, a aplicação de técnicas de preparação do terreno é essencial para melhorar o armazenamento de água e a disponibilidade de nutrientes no solo. Foi instalado um ensaio experimental constituído por 3 blocos onde foram distribuídos aleatoriamente 6 tratamentos que representam diferentes intensidades de preparação do terreno (ligeira, intermédia e intensiva). Antes da preparação do terreno foram observados 48 perfis de solo e um ano após a instalação do povoamento florestal, foram observados 6 perfis de solo por tratamento na linha de plantação. Para avaliar os efeitos das técnicas de preparação do terreno nas propriedades do solo e possíveis relações com a resposta das espécies florestais, foram colhidas amostras de solo nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. A monitorização da qualidade do solo foi baseada em propriedades morfológicas observadas nos perfis de solo e nos resultados analíticos das amostras de solo. Nos tratamentos de mobilização ligeira do solo, a espessura efectiva manteve-se muito semelhante à do solo original, registando-se aumentos significativos (entre 30 e 40 cm) nos tratamentos de mobilização intermédia e intensiva. Também nestes últimos tratamentos, ocorreu uma diminuição da resistência do solo à penetração e da massa volúmica em todas as profundidades consideradas. Quando comparado com o solo original, a preparação do terreno contribuiu para um aumento do teor de argila e da disponibilidade de nutrientes no solo, com excepção do C orgânico e do N total. Os resultados mostram que a preparação do terreno pode produzir efeitos positivos na qualidade dos solos florestais da região Mediterrânea.

Palavras chave: Região mediterrânea, propriedades do solo, qualidade do solo

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (ESAB/IPB), Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, ffonseca@ipb.pt

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-911 Vila Real, Portugal

Abstract

In the Mediterranean region, the productivity of most soils used for forest plantations is limited by low root support, high coarse elements and low organic matter content, which tend to limit the water storage in the soil profile. Accordingly, application of site preparation techniques is essential to enhance water storage and nutrients availability in the soil. In order to improve the knowledge about this subject, it was established an experimental field comprising three blocks where six treatments corresponding to different tillage intensities were randomly distributed (high, moderate and slight intensity). Before site preparation operations 48 soil profiles were observed, and one year after planting 6 soil profiles per treatment were observed in the plantation line. Soil samples were taken at 0-20, 20-40 and 40-60 cm to assess the effects of site preparation on soil properties and possible relationships with plant response. Soil quality monitoring was based on morphological properties observed in soil profiles and analytical results of soil samples collected in the profiles. In slight soil disturbance treatments, the soil effective thickness remains very similar to the original soil, but in treatments with moderate and intensive site preparation there is a significant increase ranging from 30 to 40 cm. Also, treatments with moderate and intensive site preparation contributed to decrease soil penetration resistance and bulk density in all depths considered. When compared with the original soil, the site preparation contributed to increase the clay content and soil nutrients availability, except carbon and nitrogen. The results show that site preparation can produce positive effects in the forest soil quality of the Mediterranean region.

Keywords: Mediterranean region, soil properties, soil quality

Introdução

Na região Mediterrânea é frequente encontrar solos com fraca capacidade de suporte radical, elevado conteúdo de elementos grosseiros e baixo teor em matéria orgânica, o que tende a limitar o armazenamento de água no perfil do solo, pelo que o sucesso das arborizações passa muitas vezes, por uma melhoria local da disponibilidade de água através de técnicas de preparação do terreno (Querejeta *et al.*, 2001; Alcázar *et al.*, 2002; Piatek *et al.*, 2003; Imaz *et al.*, 2010). No entanto, a preparação do terreno para instalação de povoamentos florestais não tem sido devidamente baseada em resultados experimentais que permitam a seleção das técnicas mais adequadas a cada situação e otimizem a rentabilidade e a sustentabilidade dos ecossistemas. A qualidade do solo é um conceito centrado na dinâmica das propriedades e processos do solo (Dexter, 2004; Karlen, 2004), constituindo um fator essencial na sustentação global da biosfera e, em particular, na sustentabi-

lidade dos sistemas florestais (Wang e Gong, 1998). As práticas de gestão do solo e respetivo uso exercem um efeito significativo na direção e grau de modificação da qualidade do solo no espaço e no tempo (Wang e Gong, 1998).

Dada a complexidade da natureza do solo e o elevado número de propriedades que podem ser avaliadas, é importante selecionar as mais adequadas aos objetivos da gestão do solo (Schoenholtz *et al.*, 2000). Para a comparação de diferentes técnicas de preparação de solos florestais, estes autores sugerem, como indicadores da qualidade do solo, a espessura de enraizamento, a densidade aparente, a resistência do solo à penetração, a granulometria das partículas, a estabilidade da agregação, o teor de matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiónica, o grau de saturação em bases e o pH, uma vez que estas variáveis são geralmente sensíveis às práticas de gestão do solo.

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar modificações nas propriedades físicas e químicas de solos florestais submetidos a diferentes técnicas de preparação do terreno.

Material e Métodos

O campo experimental situa-se em Lamas de Podence, concelho de Macedo de Cavaleiros, ocupando a faixa dos 650 aos 700 m de altitude. A temperatura média anual é de 12°C e a precipitação média anual de 800 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea (INMG,1991). Os solos originais integram-se na associação de unidades Leptosolos dístricos órticos de xistos e Cambissolos dístricos crómicos de xistos (Agroconsultores e Coba, 1991). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, totalizando 3 repetições (blocos) e 7 modalidades de preparação do terreno (tratamentos), que abrangem vários graus de mobilização e armação do terreno, com diferentes intensidades: (1) sem mobilização (testemunha) (TSMO); (2) plantação à cova, com broca rotativa (SMPC); (3) ripagem contínua, seguida de lavoura localizada com riper equipado com aivequilhos (RCAV); (4) sem ripagem e armação do terreno em vala e câmoros (SRVC); (5) ripagem localizada e armação do terreno em vala e câmoros (RLVC); (6) ripagem contínua e armação do terreno em vala e câmoros (RCVC); (7) ripagem contínua seguida de lavoura contínua (RCLC). As espécies utilizadas foram a *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), num compasso de 4 × 2 m, em linhas alternadas. Antes da preparação do terreno foram observados 48 perfis de solo e um ano após a instalação do povoamento florestal, foram observados 6 perfis de solo por tratamento na linha de plantação. Para avaliar os efeitos das técnicas de preparação do terreno nas propriedades do solo e possíveis relações com a resposta das espécies florestais, foram colhidas amostras de solo nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. A monitorização da qualidade do solo foi baseada em propriedades morfológicas dos perfis de solos por observação no campo e em resultados analíticos de propriedades físicas e químicas de amostras colhidas em perfis de solos.

Resultados e Discussão

Os perfis observados no solo original (TSMO) e nos tratamentos de mobilização ligeira (SMPC e RCAV) são geralmente muito idênticos, com horizontes bem diferenciados, tendo sido observados os horizontes Ap, AB, Bw, BC, C. A existência de perfis naturais comprova que a mobilização ligeira do solo exerce baixa influência na alteração das propriedades morfológicas originais do solo. No que respeita aos perfis observados na linha de plantação (LP) dos tratamentos com armação do terreno em vala e câmara (SRVC, RLVC e RCVC), constata-se que na maioria dos casos, não é possível distinguir de forma nítida horizontes, sendo o solo essencialmente constituído por uma camada única heterogênea com mistura de material fino e rocha desagregada resultante da mobilização, a qual determinou mistura de características dos vários horizontes. Observações similares são referidas por Martins e Pinto (2004) num ensaio instalado com armação do terreno em vala e câmara com ripagem localizada e contínua. Finalmente, no tratamento com lavoura contínua do solo (RCLC), o efeito da lavoura é muito visível, não tendo sido possível a distinção de horizontes nos perfis observados. Basicamente, o solo é constituído por uma camada única heterogênea com “bolsas” de antigos horizontes, sendo frequentemente observado material do horizonte A a 80/90 cm de profundidade e material do horizonte C na camada superficial.

Nos tratamentos de mobilização ligeira do solo (SMPC e RCAV), a espessura efectiva manteve-se muito semelhante à do solo original, registando-se aumentos significativos (entre 30 e 40 cm) nos tratamentos de mobilização intermédia e intensiva (SRVC, RLVC e RCLC) (Figura 1). A espessura efectiva do solo é uma propriedade que varia muito pouco no tempo e reflecte a aptidão das condições físicas do solo para o crescimento vegetal (Wang e Gong, 1998; Schoenholtz et al., 2000). Também, os tratamentos com intensidade de mobilização do solo moderada e intensiva contribuíram para um decréscimo da densidade aparente em todas as profundidades consideradas. Os valores variam de 1,33 a 1,39 g cm⁻³ no tratamento RCVC e de 1,44 a 1,76 g cm⁻³ no solo original (TSMO), respectivamente para as camadas 0-5 e 30-60 cm. Os restantes tratamentos apresentam valores intermédios a estes (Figura 2). Além disso, a intensificação da preparação do terreno contribuiu para a redução da variabilidade espacial e vertical da densidade aparente do solo, o que favorece a disponibilidade de água e oxigénio e o desenvolvimento do sistema radicular.

A intensificação da mobilização do solo (SRVC, RLVC, RCVC e RCLC) contribuiu para um decréscimo significativo do teor de carbono e azoto na camada mineral superficial (0-20 cm) (Tabela 1), sendo o resultado da rotura do equilíbrio entre os processos de formação e mineralização do húmus (Saviozzi *et al.*, 2001). Nos mesmos tratamentos, excepto em RCVC, os teores de carbono e de azoto tendem a aumentar em profundidade, mostrando teores significativamente mais elevados na camada (20-40 cm), o que está associado à migração de matéria orgânica no perfil do solo por acção da mobilização (Alcázar *et al.*, 2002; Martins

e Pinto, 2004). A concentração de P_2O_5 assimilável em todos os solos (Figura 4) varia de muito baixa ($0-25 \text{ mg kg}^{-1}$) a baixa ($26-50 \text{ mg kg}^{-1}$) (Santos, 1991). Estes valores podem estar relacionados com fenómenos de retenção e fixação, tendendo a aumentar com a profundidade e a intensidade de mobilização, facto que constitui elevada importância devido aos solos Portugueses serem muito pobres neste nutriente (Arrobas e Coutinho, 2002). Quanto ao potássio assimilável expresso em K_2O (Figura 4), registam-se valores considerados médios ($51-100 \text{ mg kg}^{-1}$) (Santos, 1991). As práticas de mobilização do solo influenciaram positivamente a disponibilidade de potássio por modificação de outros factores como o arejamento, temperatura e teor de humidade (Sharma *et al.*, 2005), apresentando os solos mobilizados valores superiores aos registados no solo sem mobilização, contudo sem uma tendência consistente. Na camada superficial do solo, observa-se um aumento da soma das bases de troca (SBT), o que se justifica pela natureza do material originário e por fenómenos de lixiviação. O cálcio é o catião básico mais representado no solo, contribuindo com cerca de 70% para o somatório das bases de troca. Os valores médios de pH do solo não diferem significativamente entre tratamentos (Tabela 1).

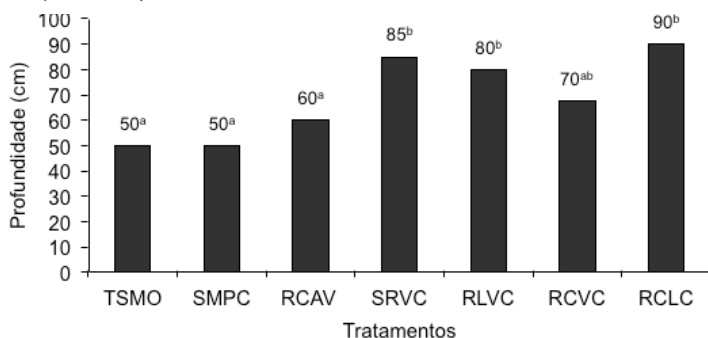


Fig. 1 – Espessura efetiva do solo após a preparação do terreno. Para os tratamentos, médias com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$)

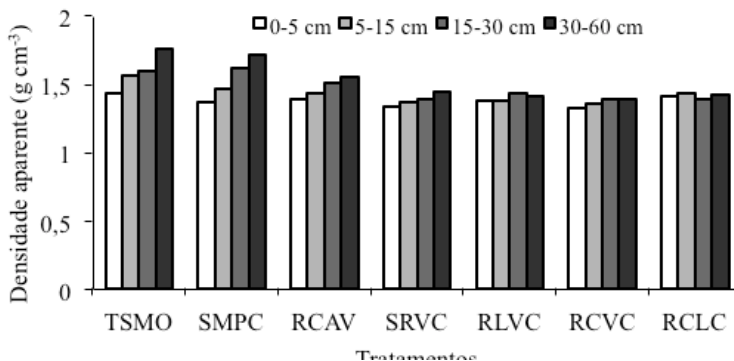


Fig. 2 – Densidade aparente do solo por profundidade e tratamento.

Tab. 1 – Propriedades químicas do solo. Em cada linha, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente os tratamentos ($P > 0,05$)

Propriedades solo	Prof (cm)	Tratamentos						
		TSMO	SMPC	RCAV	SRVC	RLVC	RCVC	RCLC
C orgânico (g kg^{-1})	0-20	11,4 ^b	11,1 ^b	8,3 ^{ab}	4,7 ^a	5,9 ^a	7,4 ^a	6,0 ^a
	20-40	6,3 ^{ab}	4,3 ^{ab}	3,2 ^a	10,5 ^b	9,0 ^b	5,6 ^{ab}	7,2 ^{ab}
	40-60	2,5 ^a	2,7 ^a	3,5 ^a	6,4 ^a	4,0 ^a	5,5 ^a	5,7 ^a
N Total (g kg^{-1})	0-20	0,85 ^b	0,82 ^b	0,65 ^{ab}	0,46 ^a	0,57 ^a	0,59 ^a	0,47 ^a
	20-40	0,54 ^{ab}	0,46 ^{ab}	0,30 ^a	0,73 ^b	0,66 ^{ab}	0,54 ^{ab}	0,75 ^b
	40-60	0,29 ^a	0,43 ^{ab}	0,40 ^{ab}	0,57 ^b	0,47 ^{ab}	0,51 ^{ab}	0,49 ^{ab}
SBT (cmol kg^{-1})	0-20	1,52 ^a	1,39 ^a	1,77 ^a	3,32 ^b	1,57 ^a	1,19 ^a	2,26 ^{ab}
	20-40	1,71 ^a	1,67 ^a	2,02 ^{ab}	3,35 ^b	1,78 ^a	1,32 ^a	2,59 ^{ab}
	40-60	1,81 ^a	2,82 ^{ab}	3,04 ^b	1,53 ^a	1,97 ^a	1,67 ^a	1,22 ^a
CTC (cmol kg^{-1})	0-20	3,31 ^a	3,26 ^a	3,92 ^a	6,57 ^b	3,63 ^a	3,30 ^a	4,59 ^a
	20-40	4,24 ^a	4,43 ^a	4,16 ^a	5,35 ^a	4,68 ^a	3,29 ^a	4,31 ^a
	40-60	5,26 ^a	5,32 ^a	6,42 ^a	4,66 ^a	4,30 ^a	5,34 ^a	4,24 ^a
pH (H_2O)	0-20	5,1 ^a	4,9 ^a	5,1 ^a	5,0 ^a	4,9 ^a	4,8 ^a	5,0 ^a
	20-40	5,0 ^a	4,9 ^a	5,0 ^a	4,9 ^a	4,9 ^a	4,9 ^a	5,0 ^a
	40-60	5,0 ^a	4,9 ^a	5,0 ^a	4,8 ^a	5,0 ^a	5,0 ^a	4,7 ^a

SBT – soma das bases de troca; CTC – capacidade de troca catiônica; GSB – grau de saturação em bases

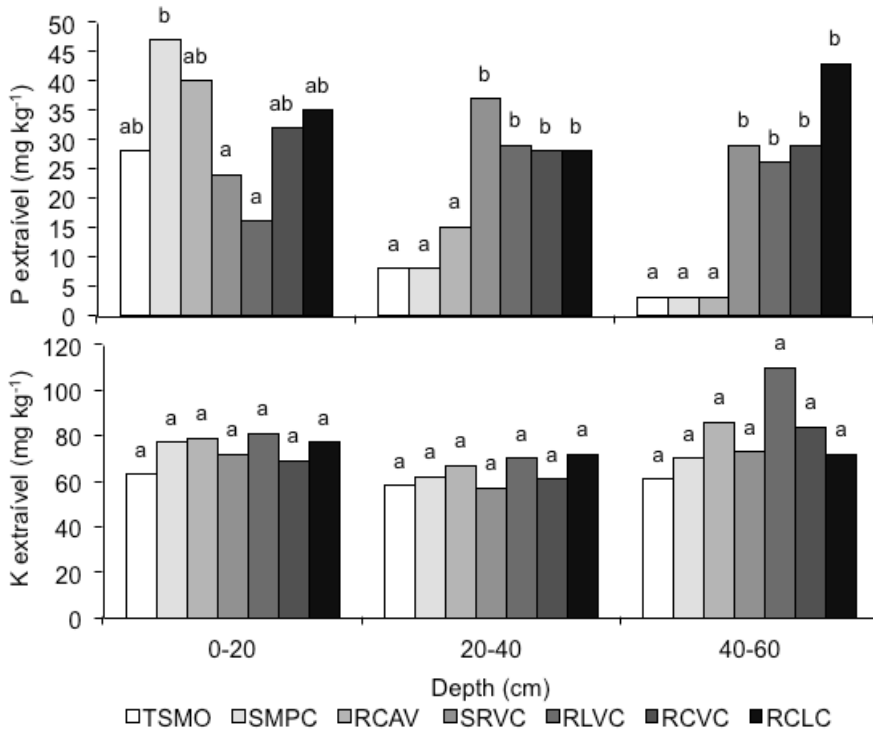


Fig. 4 – Fósforo e potássio disponível no solo após a preparação do terreno. Para os tratamentos, médias com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$)

Conclusões

Nos tratamentos de mobilização ligeira do solo (SMPC e RCAV), os efeitos da mobilização são pouco evidentes, aproximando-se as características destes solos com a situação original (TSMO), resultando numa elevada mortalidade das espécies florestais aí instaladas. Os tratamentos de mobilização do solo intermédia (SRVC e RLVC), apesar da significativa redução do teor de carbono e azoto, contribuíram para uma melhoria dos indicadores da qualidade do solo (espessura efectiva, densidade aparente, disponibilidade de fósforo e potássio). O aumento da intensidade das operações de preparação do terreno (RCVC e RCLC), com elevação dos custos de produção e possível agravamento de impactes ambientais, não se traduziu em resultados compensatórios para as propriedades medidas no solo.

Bibliografia

- Agroconsultores e Coba, 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.
- Alcázar, J., Rothwell, R.L. e Woodard, P.M., 2002. Soil disturbance and the potential for erosion after mechanical site preparation. *North. J. Appl. For.*, 19, 1: 5-13.
- Arrobas, A. e Coutinho, J., 2002. Phosphorus characterization in soils from Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 25: 109-122.
- Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120: 201-214.
- INMG, 1991. Normas Climatológicas da Região de “Trás-os-Montes e Alto Douro” e “Beira Interior” Correspondentes a 1951-1980. Fascículo XLIX, Volume 3, 3ª Região, Lisboa.
- Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O. e Karlen, D.L., 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*, 107: 17-25.
- Karlen, D.L., 2004. Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil and Tillage Research*, 78: 129-130.
- Martins, A. e Pinto, M.G., 2004. Efeitos da ripagem localizada versus ripagem contínua nas propriedades do solo e na resposta das plantas em novos povoamentos florestais. *Silva Lusitana*, 12, 2: 191-202.
- Piatek, K.B., Harrington, C.A. e Debell, D.S., 2003. Site preparation effects on 20 year survival and growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and on selected soil properties. *Western J. Appl. For.*, 18, 1: 44-51.
- Querejeta, J.I., Roldán, A., Albadalejo, J. e Castillo, V., 2001. Soil Water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semiarid climate. *Forest Ecology and Management*, 149: 115-128.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R. e Riffaldi, R., 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil*, 233: 251-259.
- Sharma, K.L., Mandal, U.K., Srinivas, K., Vittal, K.P.R., Mandal, B., Grace, J.K. e Ramesh, V., 2005. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil and Tillage Research*, 83: 246-259.
- Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H. e Burger, J.A., 2000. A review chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. In: Boyle, J.R., e Powers, R.F. (Ed.), *Forest soils and ecosystems sustainability*. Elsevier, New York, p. 335-356.
- Wang, X. e Gong, Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81: 339-355.



O contributo da análise espacial multicritério para a utilização sustentável do solo

O contributo da análise espacial multicritério para a utilização sustentável do solo

The contribution of spatial multi-criteria analysis for the sustainable use of soil

Luís Quinta-Nova^{1,2} e Natália Roque¹

Resumo

A seleção dos usos do solo mais adequados às aptidões edafoclimáticas, é complementada com critérios socioeconómicos, que promovem uma utilização sustentável dos espaços rurais. Para a definição da capacidade e potencialidade do solo, existem diferentes metodologias, com o propósito de se adequar aos usos agroflorestais ou ainda para a manutenção de ecossistemas naturais e seminaturais, nomeadamente no que concerne as culturas agrícolas, povoamentos florestais, territórios agro-silvo-pastoris e áreas prioritárias para a conservação da natureza. A maioria dessas metodologias recorrem a sistemas de apoio à decisão, baseados na análise espacial multicritério. Neste estudo pretendeu-se determinar os diferentes níveis de aptidão para a utilização de culturas agrícolas, povoamentos florestais e sistemas agro-silvo-pastoris no território da Beira Baixa. Para o efeito recorreu-se a um conjunto de variáveis topográficas, edáficas e climáticas, tendo como base um modelo digital do terreno, cartografia de solos e cartografia fitossociológica e biogeográfica. A avaliação da aptidão foi efetuada com recurso ao método de análise espacial multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) em ambiente SIG.

Palavras-chave: Análise multicritério, aptidão do solo, floresta, agricultura, sustentabilidade, SIG.

Abstract

It is generally agreed that the choice of the most appropriate uses for cultivation skills, complemented by socio-economic criteria, promoting the sustainable use of rural areas. There are, however, different methodologies used to define the

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, Quinta da Senhora de Mércules, 6001-909 Castelo Branco, Portugal. Inova@ipcb.pt.

² Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade, Escola Superior Agrária, 6001-909 Castelo Branco, Portugal.

capacity and ground potential for the implementation of agro-forestry uses or for the maintenance of natural and semi-natural ecosystems, including agricultural crops, forest plantations, agro-forestry-pastoral territories and priority areas for nature conservation. Many of these methods rely on decision support systems based on multi-criteria spatial analysis. In this study we sought to determine the different levels of suitability for use of agricultural crops, forest stands and agro-silvopastoral systems within the Beira Baixa subregion. For this purpose resorted to a set of climatic, soil and topographic variables, based on a digital terrain model, mapping soil and phytosociological and

Keywords: multi-criteria analysis, soil fitness, forest, agriculture, sustainability, SIG.

1. Introdução

Considerando que a aptidão natural do território para um determinado uso resulta da conjunção de fatores relacionados com a capacidade intrínseca desse território no que respeita aos fatores ambientais, com as potencialidades que advêm da transformação do território pelo homem. O ordenamento do espaço agro-florestal é um instrumento indispensável para que as várias entidades que o utilizam possam fazê-lo de acordo com as suas aptidões, contribuindo para um aproveitamento integrado e economicamente sustentável do espaço rural.

Segundo Roy (1996) a análise multicritério é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), assenta na seleção dos critérios, que potenciam e limitam o seu uso, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão. A análise multicritério tem sido aplicada em vários estudos no âmbito do planeamento ambiental e territorial (Malczewski, 2004; Collins *et al.*, 2001).

2. Material e Métodos

Na Figura 1 é apresentada a análise geográfica e geoprocessamento das variáveis utilizadas na determinação das aptidões para as diferentes utilizações.

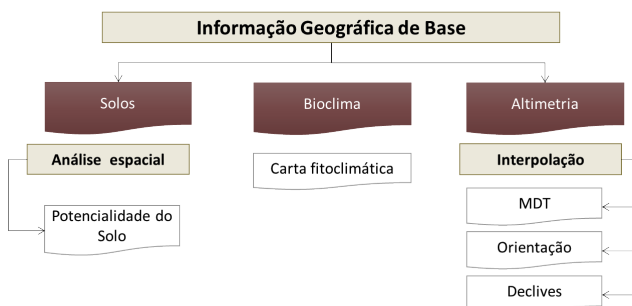


Fig. 1 – Análise geográfica e geoprocessamento.

O território da Beira Baixa é composto pelos municípios de Oleiros, Proença-a-Nova, Vila Velha de Rodão, Castelo Branco, Idanha-a-Nova, e Penamacor.

Para a determinação das potencialidades do solo procedeu-se à edição da tabela de atributos do tema solos, reclassificando-se os solos nas suas potencialidades genéricas de acordo com a Tabela 1, definida em UNESUL (1996).

Tabela 1 – Características e potencialidades do solo.

Classe de potencialidade	Características dos solos	Uso potencial
I	Solos muito variados que apresentam severas ou muito severas limitações a um uso produtivo direto devido a problemas de espessura efetiva, riscos de erosão ou pedregosidade. Com fertilidade muito baixa.	Mata e matos com funções essencialmente de proteção e recuperação. Em alguns casos mais favoráveis, pastagem permanente melhorada e integrada no sistema montado.
II	Solos de textura grosseira, sem problemas graves de erosão, em geral de fertilidade muito baixa a baixa.	Sistemas florestais (pinhal e montado de sobro), pastagens, vinha, suscetíveis de utilização arvensa ou hortícola intensiva dispondo-se de água e matéria orgânica.
III	Solos mediterrâneos sem problemas graves de erosão. Fertilidade baixa a mediana.	Sistemas culturais arvenses cerealíferos, hortícolas ou frutícolas e até pratenses e florestais apropriados, pouco intensivos.
IV	Solos mediterrâneos para-barros e solos calcários sem problemas de erosão. Fertilidade mediana a boa.	Sistemas culturais arvenses cerealíferos intensivos, frutícolas, pratenses, montados ou florestais. Particularmente aptos para olival e proteaginosas se de reação alcalina.
V	Apresentam uma fertilidade elevada.	Suscetíveis de usos diferenciados consoante a drenagem, textura e disponibilidade de água de rega: Sistemas de regadio e Sistemas de sequeiro. Sistemas florestais intensivos.
Afloramentos rochosos	-	Sem aptidão
Áreas sociais	-	Sem aptidão

Fonte: UNESUL (1996)

Com recurso a cartografia referente ao potencial dos solos, bioclima, orientações e declives, desenvolveu-se a análise AHP para a determinação do potencial natural dos solos para floresta de produção, culturas agrícolas de regadio; culturas agrícolas de sequeiro; montado ou bosque de sobreiro; montado ou bosque de azinheira; bosque de carvalho negral (Figura 2).

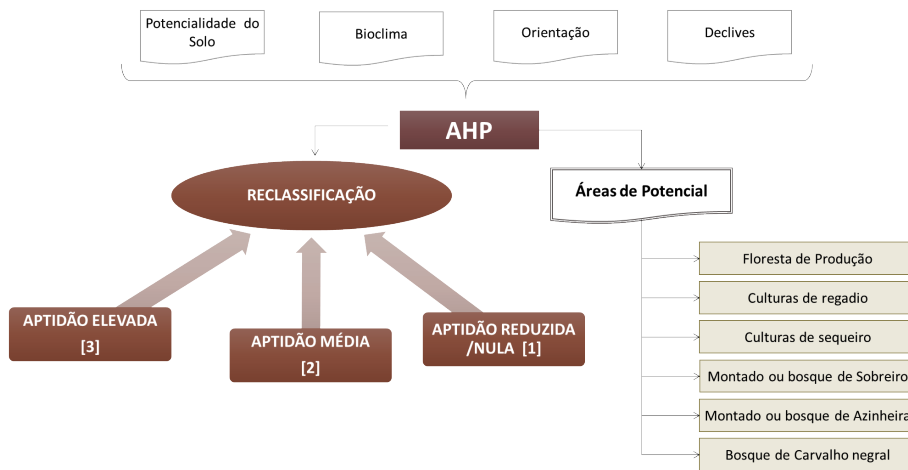


Fig. 2 – Análise Multicritério

A identificação das aptidões agro-florestais foi efetuada com base na integração de um conjunto de fatores biofísicos usando a extensão desenvolvida por Malczewski (2004). Considerando as exigências edafoclimáticas das espécies cultivadas e as condições ótimas de exploração associadas aos diferentes usos, tendo sido utilizada como cartografia vetorial de base, a altimetria, os solos e ocupação do solo.

Resultados e Discussão

Os diferentes temas foram classificados em três níveis de aptidão: reduzida ou nula (1), média (2) e elevada (3), Tabela 2. Com base nos temas resultantes da reclassificação em níveis de aptidão, calculou-se a aptidão mediante a aplicação de um método de análise espacial multicritério - o Analytic Hierarchy Process (AHP) ou Processo Analítico Hierárquico (Saaty, 1980).

Segundo o processo analítico hierárquico os pesos e prioridades a atribuir aos critérios resultam de um conjunto de julgamentos subjetivos realizados por participantes envolvidos no processo.

O desenvolvimento das comparações par a par de critérios exige a adoção de uma escala que expresse e possibilite a normalização dos julgamentos efetuados. Neste trabalho adotou-se a escala proposta por Saaty (1980), composta por nove níveis numéricos, apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 - Modelo de classificação das variáveis

Critérios	Classes	Aptidão					
		Pinhal de produção (<i>Pinus pinaster</i>)	Culturas agrícolas de regadio (regime intensivo)	Culturas agrícolas de sequeiro (regime extensivo)	Montado ou bosque de sobreiro (<i>Quercus suber</i>)	Montado ou bosque de azinheira (<i>Quercus rotundifolia</i>)	Bosque de carvalho negral (<i>Quercus pyrenaica</i>)
Potencialidade do solo	Classe I	1	1	1	2	2	2
	Classe II	3	2	3	3	3	3
	Classe III	3	2	3	3	3	3
	Classe IV	2	3	3	3	3	3
	Classe V	2	3	3	3	3	3
	Áreas sociais	1	1	1	1	1	1
	Afl. rochosos	1	1	1	2	2	2
Declives	0 - 10%	3	3	3	3	3	3
	10% - 20%	3	1	2	3	3	3
	20% - 30%	2	1	1	2	2	2
	> 30%	1	1	1	2	2	2
Bioclima	AM	3	3	3	2	2	2
	AM.SM	3	3	3	3	1	3
	IM	1	3	3	1	3	1
	MA.AM	2	3	3	2	1	2
	SA	3	3	3	1	1	1
	SA.AM	3	3	3	2	1	1
	SA.MA.AM	3	3	3	2	2	2
	SA.OA	1	3	3	1	1	1
	SA.SM	2	3	3	2	2	2
	SM	3	3	3	3	2	3
SM.IM	1	3	3	2	2	2	
Exposições	Áreas planas	3	3	3	3	3	3
	Enc. quentes	3	2	2	3	3	2
	Enc. temper.	3	3	3	3	3	3
	Enc. frias	3	2	2	2	3	3

3 - aptidão elevada; 2 - aptidão média; 1 - aptidão reduzida ou nula

Tabela 3: Escala de comparação de critérios.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos importante				Mais importante				

Fonte: Saaty (1980).

O processo AHP é concluído pela determinação da importância relativa de cada critério/subcritério e pela validação da consistência destas operações. Se o índice de razão de consistência (RC) for inferior a 10% (RC <0,1) significa que existe uma coerência na comparação par a par da matriz. Como o valor da Razão

de Consistência (RC) foi de 0,1136 (muito próximo de 0,1), admite-se a existência de uma boa consistência na comparação par a par da matriz (Tabela 4 e 5).

Tab. 4 – Resultado da análise multicritério

Variáveis	Bioclima	Solo	Declive	Exposições
Bioclima	1	3	7	9
Solo	1/3	1	5	7
Declive	1/7	1/5	1	5
Exposições	1/9	1/7	1/5	1

Tab. 5 – Ponderação dos critérios

Variáveis	Valor próprio	Ponderação
Bioclima	4,307	57,74%
Solo	-0,033	28,82%
Declive	-0,033	9,94%
Exposições	-0,242	3,78%

Na Figura 3 apresenta-se a quantificação em três classes: aptidão elevada, média ou reduzida do potencial natural dos solos para os seguintes usos: floresta de produção, culturas agrícolas de regadio; culturas agrícolas de sequeiro; montado ou bosque de sobreiro; montado ou bosque de azinheira; bosque de carvalho negral.

Conclusões

A AHP mostrou-se também adequada na avaliação da aptidão da área de estudo, por permitir a integração dos vários critérios estudados em função dos pesos atribuídos, sendo uma ferramenta interativa muito útil na análise do território, que possibilita a tomada de decisão e a resolução de problemas.

Esta metodologia permite a exploração da aptidão natural do território, com base num conjunto de fatores biofísicos, contribuindo para uma reflexão sobre a adequação das ocupações atuais e futuras face à capacidade de carga do meio.

Do ponto de vista instrumental, a exploração da metodologia pode assumir um interesse como auxiliar para os agentes da administração pública com funções na área do planeamento e gestão do território.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do programa POCTEP. Projeto “Observatório Territorial e Ambiental Alentejo-Extremadura-Centro” (0345_OTALEX_C_4_E).

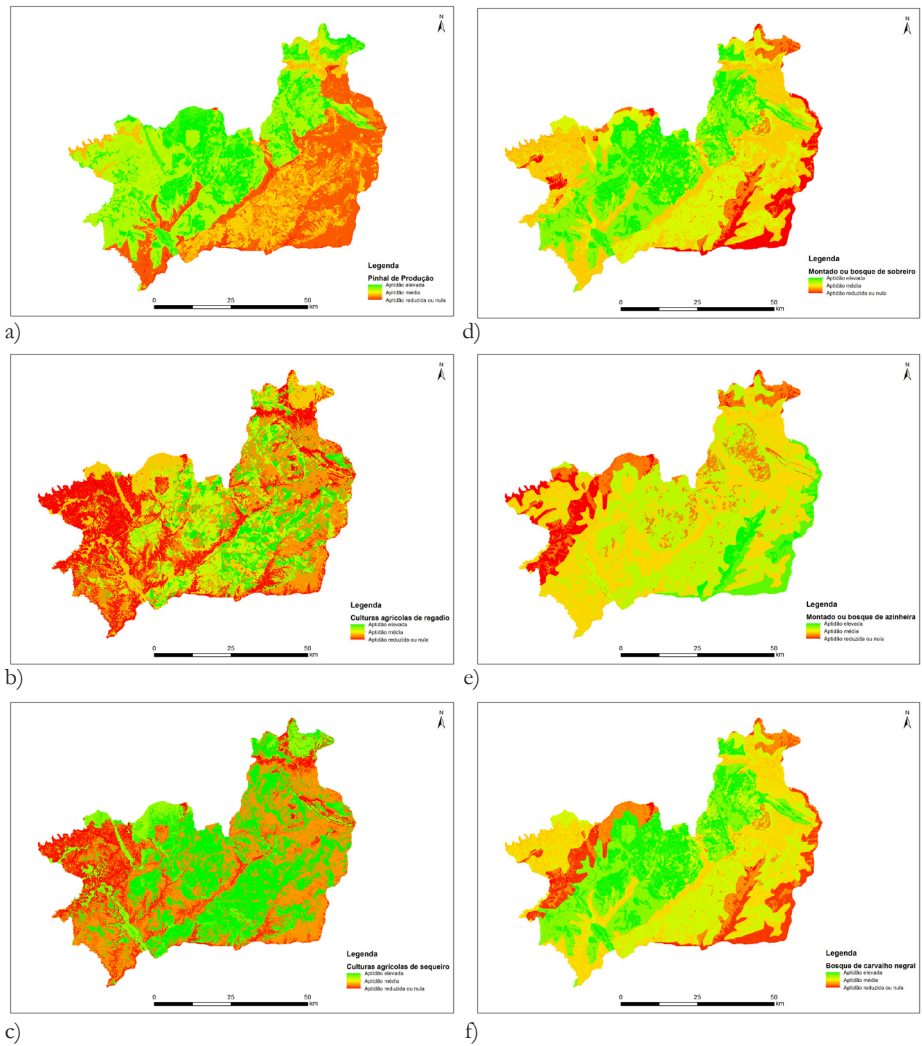


Fig. 3 – Áreas de potencial a) Floresta de produção, b) Culturas agrícolas de regadio; c) Culturas agrícolas de sequeiro; d) Montado ou bosque de sobreiro; e) Montado ou bosque de azinheira; f) Bosque de carvalho negro.

Referências

- Collins, M. G., Steiner, F. R., Rushman, M. J. 2001. "Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements". *Environment Management*. v. 28, n. 5, pp. 611-621.
- Malczewski, J. 2004. "GIS - based land-use suitability analysis: a critical overview", *Progress in Planning*, v. 62, n. 1, pp. 3-65.
- Roy, B. 1996. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht. Kluwer Academic.

- Saaty, T.L. 1980. The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. 1st Ed., McGraw-Hill, New York.
- UNESUL 1996. Análise da evolução de uma área da Península de Setúbal na sequência de um processo de alteração de uso - Relatório final do projecto 16/94 do Programa estímulo à investigação no domínio do Ordenamento do território e do Desenvolvimento Urbano, Associação Universidade-Empresa do Sul, Évora



Caracterização nutricional da alga *Gracilaria vermiculophylla*

Caracterização nutricional da alga *Gracilaria vermiculophylla*

Nutritional characterization of *Gracilaria vermiculophylla* seaweed

Maria Vidal^{a*}, Catarina Silva^a, Joana Rodrigues^a e Susana Cardoso^{a, b}

Resumo

Neste trabalho pretendeu-se comparar durante dois anos consecutivos a composição nutricional da alga *Gracilaria vermiculophylla* desenvolvida numa piscicultura. Durante os dois anos, a alga apresentou valores semelhantes (expressos na base seca) de proteína (27,2-25,1%), fibra (7,0-6,8%) e gordura (0,4-0,4%), apresentando, no entanto, diferenças significativas no teor de humidade, cinzas e hidratos de carbono, o que, no caso concreto das cinzas (20,2-12,1%), pode ser explicado pela diferença nas condições meteorológicas observadas ao longo dos dois anos. Em termos da composição mineral, com exceção do aumento na concentração do Fe e Na e da manutenção dos níveis de K, os restantes minerais e metais pesados apresentaram valores inferiores aos determinados em 2013. A pequena variação nos teores de N e K, apresentando em 2013, respetivamente, os valores 4,3% e 3,8%, e em 2014, os valores 4,0% e 4,1%, sugere, no entanto, o aproveitamento pela alga do excesso de nutrientes, proveniente da ração dos peixes. Da mesma forma que, independentemente da quantidade de precipitação anual, a alga apresenta na sua composição micronutrientes essenciais às plantas, como o zinco e o ferro. Finalmente, todos os metais pesados analisados apresentaram teores baixos e bastante abaixo do limite máximo estipulado para os fertilizantes agrícolas. Devido a estes factos, a *G. vermiculophylla* criada e desenvolvida em cativeiro apresenta potencial para ser utilizada como fertilizante, constituindo uma mais-valia económica e ambiental para as empresas de aquacultura.

Palavras-chave: valor-fertilizante, metais pesados, macroalga, macro- e micronutrientes

^aCERNAS, School of Agriculture, Polytechnic Institute of Coimbra, Bencanta, Coimbra, Portugal;

^bDepartment of Chemistry & QOPNA, University of Aveiro, Aveiro, Portugal. ^{*}balseiro@esac.pt

Abstract

The aim of this study was to evaluate, during two consecutive years, the nutritional composition of *Gracilaria vermiculophylla* grown on fish farming at 'Ria de Aveiro'. For both years, alga contents on a dry weight basis of crude protein (27.2-25.1%), fiber (7.0-6.8%) and fat (0.4-0.4%) were similar although significant differences were observed in moisture, ashes and carbohydrates. The decrease observed in ash content in 2014 (20.2-12.1%) can be explained by the different meteorological conditions observed on both years. Thus, with exception of Fe and Na that were increased in 2014 and that of K that was kept nearly constant, the percentages of other tested minerals and heavy metals were lower when compared to those of 2013. The little variation observed for N and K, respectively 4.3% and 3.8% in 2013 and 4.0% and 4.1% in 2014, suggests the efficient conversion of dissolved inorganic and suspended organic nutrients produced by fed aquaculture. It was also concluded that, independently of precipitation levels, the algae showed the presence of essential micronutrients, particularly zinc and iron, while values of all the analysed heavy metals were under maximum limit permissible by law in organic fertilizers. From these results, it is possible to suggest that harvested algae from aquacultures have potential to be used as fertilizer, providing an important economic and environmental added value.

Key words: fertilizer-value, heavy metals, macro algae, macro- and micronutrients

1. Introdução

A *Gracilaria vermiculophylla* é uma macroalga vermelha originária do Pacífico com potencial de se reproduzir todo o ano e capaz de se desenvolver numa ampla gama de condições ambientais, levando à sua disseminação, muitas vezes com carácter invasivo, dos mais variados ecossistemas (NBII, 2011). Em Portugal, os estuários das rias Formosa e de Aveiro são exemplo de dois ecossistemas afetados pela proliferação desta alga (Abreu, 2011). Atualmente, a zona da Ria de Aveiro alberga algumas explorações de pequena e média dimensão dedicadas à produção em regime semi-intensivo de dourada e robalo, onde o anormal desenvolvimento de algas leva frequentemente à diminuição do oxigénio dissolvido com a consequente diminuição da qualidade da água e aumento do consumo energético associado às necessidades de maior arejamento. Para além do risco que representa a morte e decomposição desta biomassa, o seu aumento não controlado constitui também um problema para as aquaculturas durante os períodos de pesca. A sua remoção periódica leva à formação de um resíduo, para o qual não existe presentemente um destino adequado, sendo importante o estudo e desenvolvimento de estratégias para a sua valorização económica. Entre as espécies que se desenvolvem nos tanques de criação de peixe destaca-se a alga vermelha *Gracilaria vermiculophylla* que

se desenvolve em profundidade, tornando difícil a sua acessibilidade nos meses de maior luminosidade e consequente proliferação de algas verdes. Neste contexto, procedeu-se à caracterização nutricional da *G.vermiculophylla* recolhida durante os períodos de pesca de dezembro numa piscicultura da Ria de Aveiro durante dois anos consecutivos, de forma a avaliar o seu potencial como fertilizante.

2. Materiais e métodos

A *G.vermiculophylla* pode ser encontrada até 4 a 5 metros de profundidade, o que torna difícil o seu acesso durante os meses de verão em consequência da predominância à superfície das algas verdes. Embora as amostras fossem recolhidas em dezembro dos anos 2012 e 2013, coincidindo com os períodos de pesca da época festiva, a respetiva composição química foi avaliada apenas nos primeiros meses do ano seguinte. As análises foram realizadas de acordo com os procedimentos da AOAC (1997): humidade, fibras, teor de proteína bruta (N×6,25) analisado pelo método de *Kjeldahl*, teor de gordura bruta, determinado após extração pelo método de *Saxhlet* de uma massa conhecida da amostra com éter dietílico, cinzas determinadas gravimetricamente após incineração a 550°C. O extrato não nitrogenado, também designado por hidratos de carbono não estruturais, foi determinado de forma indireta excluindo os valores da proteína, fibra, gordura e cinzas (Greenfield, 2003). A composição mineral foi analisada a partir das cinzas por absorção atômica e o teor de fósforo por espectrofotometria do visível. Os resultados apresentados para cada parâmetro correspondem à média de três ensaios.

3. Resultados e discussão

Amostras da alga *G. vermiculophylla*, recolhidas numa piscicultura e com um intervalo de um ano, foram sujeitas a duas análises nutricionais independentes, tendo-se obtido valores médios semelhantes de proteína, fibra e gordura mas diferenças significativas no teor de humidade, cinzas e hidratos de carbono, conforme mostram os resultados apresentados na Tabela 1.

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), o ano 2012 em Portugal Continental caracterizou-se por uma situação de seca meteorológica, que se iniciou no final de 2011 e que se manteve durante quase todo o ano de 2012. Nesse ano o valor de pluviosidade total anual foi de 636 mm a que corresponde um desvio negativo (em relação ao valor normal 1971-2000) de 246.1mm, e que permite classificar 2012 como um ano seco. Por outro lado, em 2013, o valor médio de pluviosidade total anual foi de 939 mm, correspondendo a uma anomalia de +57 mm (em relação ao valor médio 1971-2000), registando-se nas regiões do Norte e Centro valores de pluviosidade superiores ao valor médio. Assim, a

redução no teor das cinzas observada nas amostras colhidas no final de 2013 pode estar relacionada com o fator de diluição resultante do aumento significativo de pluviosidade em relação a 2012.

Tab. 1 – Resultados da avaliação nutricional da alga *G.vermiculophylla* obtidos em 2013/14. À exceção da humidade, os restantes valores são expressos em relação ao peso seco (média em % \pm SD, n =3).

Componente nutricional	Média (%) \pm SD, n=3	
	2013	2014
Humidade	81,20 \pm 4,20	97,23 \pm 0,05
Cinzas	20,22 \pm 1,30	12,13 \pm 0,09
Fibra bruta	7,02 \pm 0,47	6,80 \pm 0,16
Proteína bruta	27,15 \pm 0,03	25,11 \pm 0,07
Gorduras	0,40 \pm 0,10	0,42 \pm 0,11
Hidratos de Carbono	45,21 \pm 1,90	55,54 \pm 0,43

Por outro lado, a redução do teor de cinzas justifica o aumento do teor de hidratos de carbono, como resultado do seu cálculo indireto, e a diminuição do valor percentual da maioria dos minerais e metais pesados, conforme observado respetivamente nas Figuras 1 e 2.

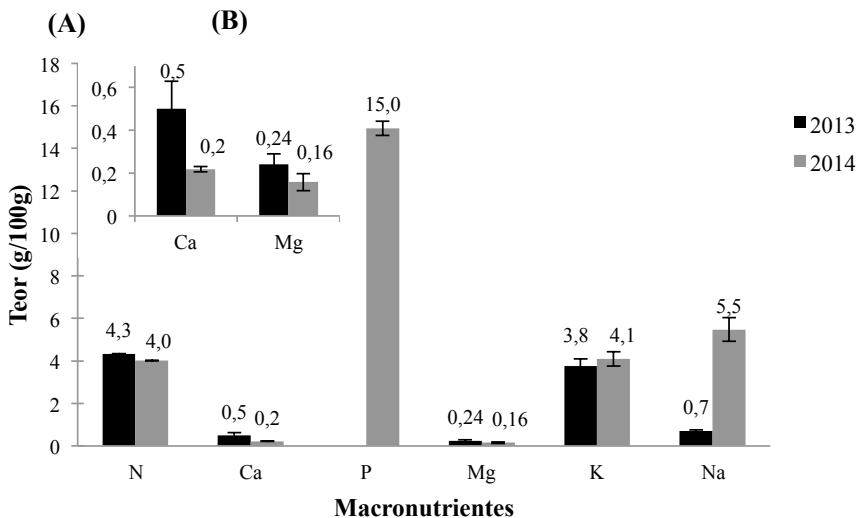


Fig. 1 - (A) - Teores dos macronutrientes (N, Ca, P, Mg, K e Na) presentes na alga *G. vermiculophylla*. (B) - Pormenor relativo ao Ca e Mg (média em g/100g d.w. \pm SD, n=3).

De acordo com a Figura 1, o macronutriente maioritário nas amostras das algas analisadas em 2014 foi o fósforo (15,0 \pm 0,3). Segundo estudos realizados em algas do género *Gracilaria*, os valores deste macronutriente são normalmente valores

bastante mais baixos, situando-se entre 0,8% e 0,4% (El din *et al.*, 2012; Mcdermid *et al.*, 2003). A diferença observada entre o valor obtido neste trabalho e os valores descritos na literatura sugere uma concentração elevada de fósforo no ecossistema, provavelmente proveniente da alimentação dos peixes (Wang *et al.*, 2012).

Por outro lado, os teores de N e K não sofreram grande variação, apresentando em 2013, respetivamente, os valores $4,3\% \pm 0,0$ e $3,8 \pm 0,3$ e em 2014, os valores $4,0\% \pm 0,0$ e $4,1 \pm 0,3$, sugerindo que a concentração destes elementos não seguiu a tendência de diluição resultante da quantidade mais elevada de chuva acumulada durante o ano de 2013. A conservação do teor destes elementos nas algas parece resultar mais uma vez do aproveitamento pela alga do excesso de nutrientes, proveniente da utilização de rações de elevado teor proteico, enriquecidas com os minerais mais importantes para o desenvolvimento dos peixes em aquacultura.

Quanto aos metais pesados, a partir do gráfico apresentado na figura 2, verifica-se que em ambos os anos, os teores de metais pesados encontram-se muito abaixo do limite máximo estipulado para os fertilizantes agrícolas (Portaria nº 631/2009 de 9 Junho), mantendo, no entanto, o nível de micronutrientes essenciais às plantas, como o zinco e o ferro, para cujo valor particularmente elevado em 2014, parece ter contribuído os nutrientes provenientes da ração. Para além do crómio, cobre, zinco, manganésio e ferro, foram ainda analisados o chumbo, níquel que, em ambos os anos, apresentaram valores inferiores ao limite de quantificação, e o cádmio que, nos dois anos, apresentou valores inferiores ao limite de deteção.

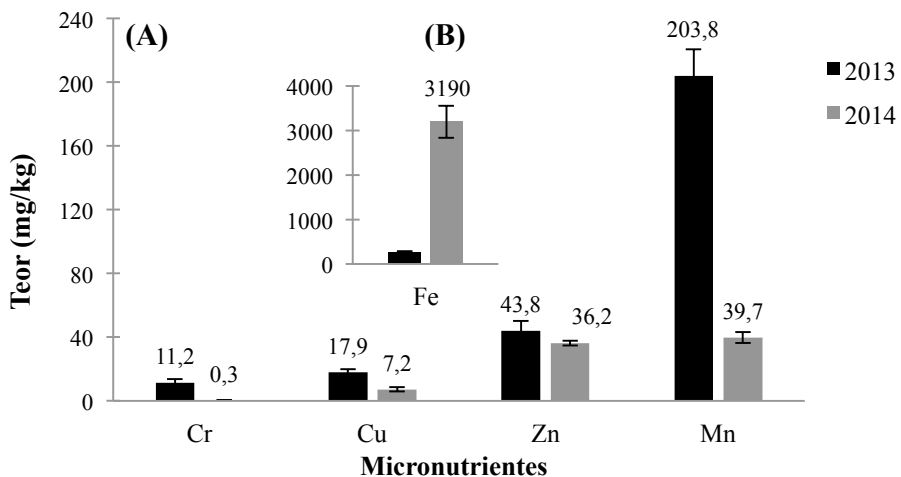


Fig. 2 - (A) - Comparação dos teores dos metais pesados (Cr, Cu, Zn e Mn) presentes na alga *G. vermiculophylla* em 2013 e 2014. (B) - Comparação do teor do ferro (mg/kg d.w. \pm SD, n=3).

4. Conclusão

Apesar do aumento da quantidade de chuva acumulada em 2013 relativamente ao ano de 2012, as algas analisadas em 2014 continuaram a apresentar teores elevados de macronutrientes (N, P e K) bem como de alguns micronutrientes essenciais às plantas como o Zn, Mn, Fe e Cu. Os resultados apresentados sugerem uma baixa conversão da ração utilizada na alimentação dos peixes em biomassa animal, o que está de acordo com resultados recentemente publicados, nos quais os desperdícios de C, N e P, provenientes da ração animal utilizada em aquaculturas, podem chegar até 70%, 62% e 70%, respetivamente (Wang, 2012). Os resultados obtidos neste trabalho mostram que o desenvolvimento da *G. vermiculophylla* numa aquacultura de produção de peixe beneficia do excesso de nutrientes libertados e que, quer em anos chuvosos, como o de 2013, quer em anos secos, como o de 2012, apresentam níveis de metais pesados abaixo do limite máximo admitido por lei. Assim e quando comparada com a *A. nodosum*, atualmente uma das algas mais utilizada como fertilizante (Villares *et al.*, 2012), a nível mineral, a *G. vermiculophylla* apresenta potencial para ser utilizada como fertilizante, contribuindo para a sustentabilidade do setor de produção aquícola.

5. Referências

- Abreu, M.H., Pereira, R., Sousa-Pinto, I. and Yarish, C., 2011. Ecophysiological studies of the non-indigenous species *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta) and its abundance patterns in Ria de Aveiro lagoon, Portugal, *Eur. J. Phycol.*, 46, 4: 453-464.
- El Din, N. G. S., El-Sherif, Z. M., 2012. Nutritional value of some algae from the north-western Mediterranean coast of Egypt. *Journal of Applied Phycology*, 24, 3:613-626.
- Greenfield, H.C., Southgate, D.A.T., 2003. Food composition data: production, management and use. FAO Publishing Management Service, 2nd ed. Roma. (Acedido: 14 outubro 2015) <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/y4705e/y4705e.pdf>>
- IPMA. Boletim Climatológico Anual – 2013 Portugal Continental (acedido: 14 outubro 2015) <http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140919/ppPElIDp-NfmvIKfphEGEM/cli_20130101_20131231_pcl_aa_co_pt.pdf>.
- IPMA. Boletim Climatológico Anual – 2012 Portugal Continental. (acedido: 14 outubro 2015) <http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140428/VhjjOEeIZvKRAbywFYxA/cli_20120101_20121231_pcl_aa_co_pt.pdf>.
- McDermid, K. J., Stuercke, B., 2003. Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 15, 6: 513-524.
- NBII-National Biological Information Infrastructure; Invasive Species Specialist Group—*Gracilaria vermiculophylla* (aquatic plant), 2011. (Acedido: 14 outubro 2015) <<http://www.issg.org/database/species/ecology.aspx?si=1698&fr=1&sts=&lang=EN>>.
- Portaria n.º 631/2009, de 9 Junho – Diário da República n.º 111, Série. Ministérios do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional e da agricultura, do desenvolvimento rural e das pescas. (Acedido: 14 outubro 2015) <[http:// https://dre.pt/application/file/494463](http://dre.pt/application/file/494463)>.
- ‘Official Methods of Analysis’, 1997. 16th Ed., 3rd Revision (AOAC International: Gaithersburg, MD).
- Villares, R.; Fernández-Lema, E.; López-Mosquera, E., 2012. Seasonal variations in concentrations of macro- and micronutrients in three species of brown seaweed. *Botanica Marina*, 56, 1: 49–6.
- Wang, X., Olsen, L.M., Reitan, K.I., Olsen, Y., 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.*, 2: 267-283.

Uso da terra e riscos de degradação do solo no Nordeste de Portugal: mudanças nas últimas décadas

Land use and soil degradation risk in Northeast Portugal: changes in the last decades

Tomás de Figueiredo¹, Felícia Fonseca¹ e Zulimar Hernández²

Resumo

O NE de Portugal está, em extensas áreas, sujeito a degradação do solo, num quadro de suscetibilidade à desertificação e de elevado perigo de incêndio. As mudanças recentes nos padrões de uso da terra vêm suscitando interpretações por vezes contraditórias quanto às suas consequências para o recurso solo. Propõe-se neste trabalho discutir os resultados de uma avaliação diacrónica do quadro de riscos de degradação do solo nas últimas décadas no NE de Portugal. As legendas da Carta do Uso da Terra (1987) e da Carta de Ocupação do Solo (2007) foram compatibilizadas quanto às grandes categorias de uso (agricultura, floresta, matos). Foi definido o quadro de riscos de degradação do solo pelo grau de adequação do uso à aptidão da terra, distinguindo-se áreas em sobre-exploração, com uso adequado e em sub-exploração do recurso solo. Revelam-se tendências na evolução da ocupação do solo já conhecidas em Portugal, com redução das áreas agrícolas e incremento dos matos, que se traduzem na diminuição em cerca de 14% da área em sobre-exploração da terra, e num aumento da área em uso adequado (8%) e em sub-exploração (6%). Os resultados, mostrando uma redução desejável na ameaça ao recurso solo, são discutidos considerando a extensão ainda significativa das áreas em sobre-exploração (44%), bem como o acréscimo potencial de outras ameaças ao recurso solo, como o perigo de incêndio, devido ao aumento estimado em 14% em 20 anos nas áreas combustíveis sujeitas a controle social escasso – os matos.

Palavras-chave: degradação do solo, mudanças no uso da terra, matos, desertificação; incêndios florestais.

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança (ESA/IPB), Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, tomasfig@ipb.pt

² Área de Edafologia, Departamento de Geologia e Geoquímica, Universidade Autónoma de Madrid, Cantoblanco, Espanha

Abstract

Extensive areas of NE Portugal are affected by land degradation, susceptibility to desertification and high fire hazard. Recent changes in land use patterns suggest sometimes contradictory interpretations related to their effects on soil resource. The aim of this work consisted on evaluating the results of a diachronic assessment of soil degradation risks in recent decades in the NE of Portugal. Both Land Use Maps of 1987 and 2007 were made compatible for the main categories of agriculture, forest and scrubland. A surrogate indicator of soil degradation risk was obtained assessing the adequacy of land use to land suitability, separating areas of over-exploitation, with adequate use and of under-exploitation of soil resources. Trends found in the evolution of land use fit the already known in Portugal, with reduction in agricultural areas and increase in scrublands. Such changes decreased about 14% in the area with land over-exploitation and increased 8% in those with adequate use. The results, showing a welcome decrease in the threat to soil resources, are discussed considering the still significant extent of the areas with land over-exploitation (44%), and the potential for other threats to soil resource, such as fire hazard increase due to the increase of 14% in 20 years in scrublands, which are fuel accumulation areas under scarce social control.

Keywords: soil degradation, landuse changes, scrubland, desertification; wildfires.

Introdução

O NE de Portugal está, em extensas áreas, sujeito a degradação do solo, num quadro de suscetibilidade à desertificação e de elevado perigo de incêndio. De facto, o Distrito de Bragança, a unidade territorial mais afetada da Região Norte, em 62% da área apresenta perigo de incêndio severo e muito severo (CMB, 2014; avaliação em Abril de 2014), 73% é território suscetível à desertificação, em climas semiárido e subhúmido seco (PANCD, 2011; avaliação do Índice de Aridez para 2000-2010), e apenas em 31% tem risco de degradação do solo moderado ou menor, estando os solos degradados numa extensão de 38% da sua superfície (Figueiredo et al., 2014; Figueiredo *et al.*, 2015; avaliação com base em Agroconsultores e Coba, 1991).

O uso da terra tem, naturalmente, um papel central neste contexto, na medida em que condiciona o grau em que aquelas ameaças se podem manifestar ou ser controladas. De facto, o tipo e distribuição espacial da cobertura vegetal do solo, bem como as práticas de uso aplicadas, são fatores decisivos para o controle dos processos erosivos num território com risco potencial elevado essencialmente em razão da sua topografia. Por outro lado, a extensão e distribuição espacial das áreas não agrícolas (matos e florestas) e os seus modelos de gestão, estão na origem da definição de perigo de incêndio, cuja realização é, por sua vez, uma ameaça de degradação dos solos, expostos pela ação do fogo aos processos erosivos. Final-

mente, a degradação dos solos em condições de aridez crescente traduz-se numa redução da sua capacidade de sustentação de biomassa, deste modo mais contribuindo para o ciclo degradativo do recurso solo.

As mudanças recentes nos padrões de uso da terra vêm suscitando interpretações por vezes contraditórias quanto às suas consequências para o recurso solo e para os processos de degradação que o ameaçam. Deste modo, propõe-se neste trabalho discutir os resultados de uma avaliação diacrónica do quadro de riscos de degradação do solo nas últimas duas décadas no NE de Portugal.

Material e Métodos

Utilizaram-se duas bases cartográficas: (i) Carta de Uso Actual da Terra do Nordeste de Portugal, com levantamento de 1987, representando a situação no final da década de 1980 (Agroconsultores e Coba, 1991); (ii) Carta de Ocupação do Solo do Continente (COS2007), representando a do final da década de 2000 (IGP, 2010). Apenas se consideraram na análise, em ambas as bases, as áreas incluídas nas classes 2.1 a 3.3 (genericamente agricultura, pastagem floresta e matos) da COS2007, nível 2, que correspondem a 98,4% da área de estudo definida, o NE de Portugal, com cerca de 1,3 milhões de hectares (Figura 1).

Foi realizado o exercício de correspondência entre classes das duas legendas, assim permitindo comparar as duas situações quanto às grandes categorias de uso da terra (agricultura, floresta, matos). Para tal, na primeira base foi assumido o uso dominante em cada unidade cartográfica, agregando-se sob a designação de uso agrícola as unidades com culturas arvenses, arbóreo-arbustivas, exploração mista e pastagem (lameiros). Na segunda base, agregaram-se as classes 2.1 a 2.4 como uso agrícola, a classe 3.1 como floresta e as 3.2 e 3.3 foram agregadas como matos.

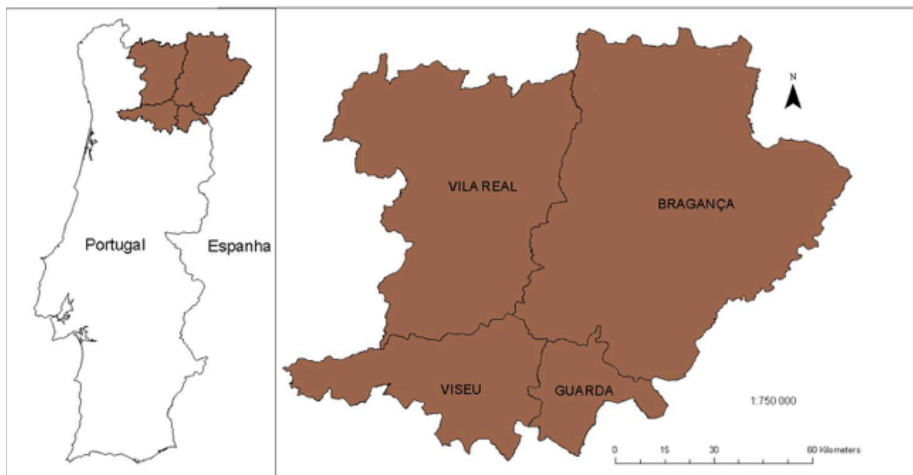


Fig. 1 – Localização e divisão administrativa da área de estudo, correspondente aos limites da Carta de Solos do NE de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991).

De acordo com Figueiredo (2013), definiu-se o quadro de riscos de degradação do solo pelo grau de adequação do uso da terra à sua aptidão para usos agrários, esta tal como estabelecida em Agroconsultores e Coba (1991) (Tabela 1). Esta aproximação distingue áreas em sobre-exploração (onde o uso é mais exigente do que a aptidão permitiria, representando por isso risco potencial de degradação do recurso), em uso adequado (coincidente com a aptidão), e em sub-exploração (com uso menos exigente).

Tab. 1 – Classificação do grau de adequação do uso da terra à sua aptidão, como indicador do nível de exploração do recurso solo (adaptado de Figueiredo, 2013).

Aptidão Agrícola da Terra	Uso da Terra		
	Agrícola	Florestal	Matos
----- Classe de adequação -----			
Elevada ou moderada	Uso adequado	Sub-exploração moderada	Sub-exploração excessiva
Marginal	Sobre-exploração moderada	Uso adequado	Sub-exploração moderada
Nula	Sobre-exploração severa	Sobre-exploração moderada	Uso adequado

As bases cartográficas indicadas foram cruzadas em SIG na área de estudo definida, respeitando as unidades cartográficas originais dessas bases. Em concreto, cruzaram-se as cartas representativas do uso da terra nas duas situações com a carta de aptidão da terra, identificando, em cada caso, o grau de adequação do uso à aptidão. Foram avaliadas as mudanças ocorridas entre as duas datas quanto ao uso do solo e ao da sua adequação à aptidão, em termos absolutos e relativos.

Resultados e Discussão

No período de 20 anos em análise, as áreas de uso agrícola diminuíram de 52% para 44% da área do NE de Portugal, ao passo que as de matos aumentaram de 32% para 45%, correspondendo pois às variações mais significativas no uso da terra (-16% e +14%, respetivamente), já que a variação nas áreas de uso florestal foi de +2% (17% para 19%) (Figura 2). Sublinha-se que se trata de um território com aptidão essencialmente florestal (floresta de produção e de proteção), considerando os 7 % de área com aptidão elevada ou moderada e os 55% com aptidão nula para a agricultura, situação em forte contraste com o uso recente da terra.

As variações no uso da terra foram mais expressivas nas áreas de aptidão agrícola marginal e nula, com uma diminuição de 10% e de 5%, respetivamente, na área agrícola e um acréscimo de 8% e de 5%, respetivamente, na área de matos (Figura 3). A maior variação nas áreas de uso florestal verificou-se nas terras de

aptidão agrícola marginal (+3%). Estas variações são indicadoras do abandono agrícola das terras menos aptas, tendência que se entende indicadora da redução do risco de degradação dos solos nessas áreas, mas, por outro lado, revelam o carácter pouco expressivo da conversão à floresta das áreas agrícolas marginais.

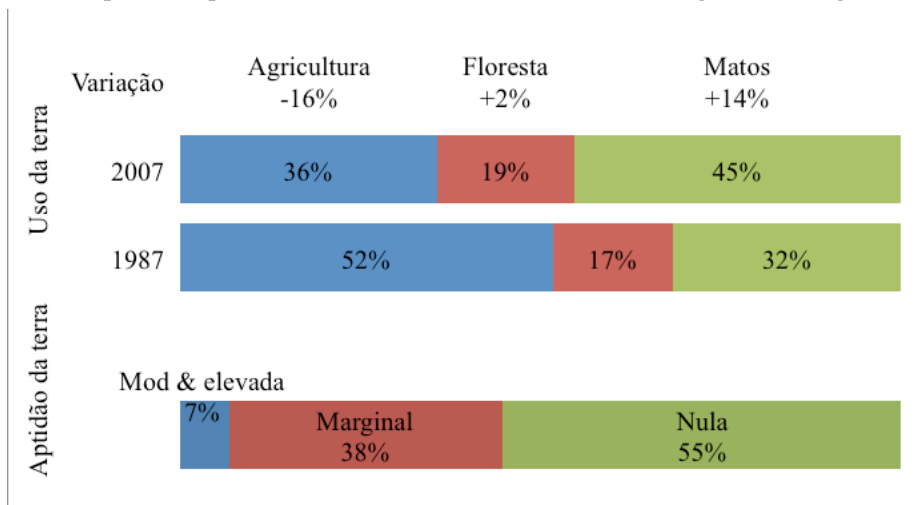


Fig. 2 – Categorias principais de Uso da Terra, e sua variação entre 1987 e 2007, e classes de Aptidão Agrícola da Terra: distribuição percentual da área no NE Portugal.

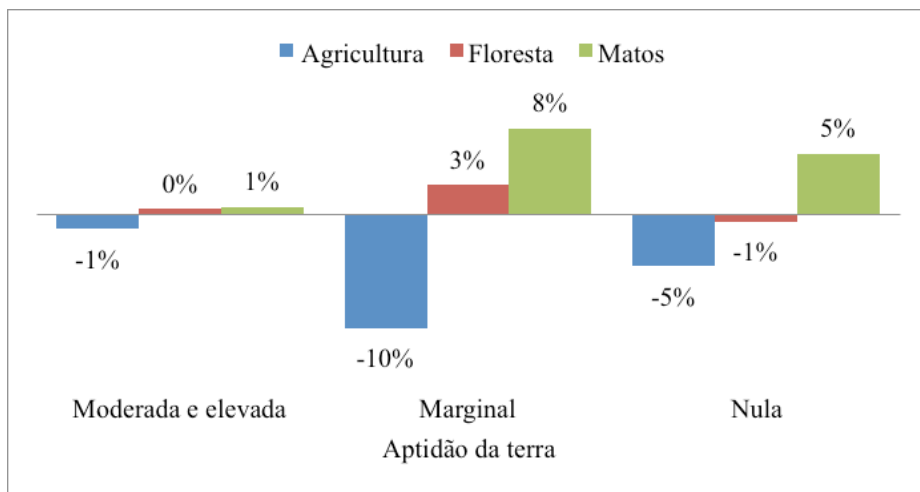


Fig. 3 – Variação, entre 1987 e 2007, da % de área das categorias principais de Uso, por classe de Aptidão da Terra no NE de Portugal.

A condição de sobre-exploração do recurso solo é a dominante neste território (58% em 1987 e 44% em 2007), com sobre-exploração severa em 17% e 10% em 1987 e 2007, respetivamente (Figura 4). O uso adequado da terra está pois remetido para segundo plano, embora em 2007 as áreas nesta condição sejam muito próximas das em sobre-exploração (42%). Entre 1987 e 2007 as áreas nesta condição

registaram aumento (perto de 8%), do mesmo modo que as em sub-exploração (6,5%), sendo a variação negativa nas áreas em sobre-exploração, a mais significativa na condição moderada (8,5%).

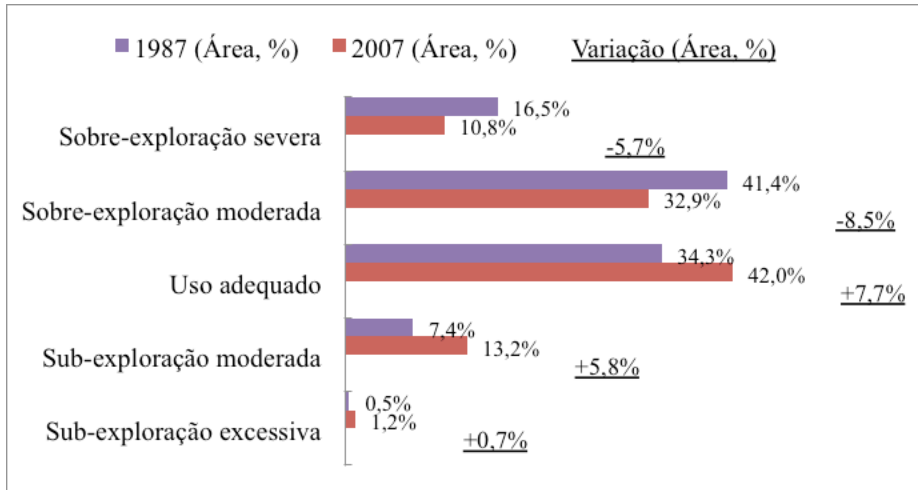


Fig. 4 – Distribuição percentual da área do NE de Portugal por classe de Adequação do Uso à Aptidão da Terra, e sua variação entre 1987 e 2007.

Considerando a adequação do uso à aptidão da terra como um indicador estrutural da racional ocupação do território, produtiva e sustentável na medida em que a produtividade e a proteção do recurso solo podem ser integradamente avaliadas, os resultados mostram que o risco de degradação do recurso solo está presente em larga extensão. As tendências verificadas são todavia positivas por via da redução significativa das áreas em risco e do aumento complementar das restantes. O facto de, à redução das áreas em uso agrícola corresponder um acréscimo expressivo das áreas de matos (que justifica essencialmente o aumento das áreas em condição de sub-exploração), suscita outras perspetivas na interpretação dos resultados. De facto, a acumulação de combustível em áreas marginais, remotas, sem controlo social por via da diminuição da população presente no território (de resto fator que concorre para o a redução da área agrícola), traduz-se num acréscimo do perigo de incêndio. A degradação dos solos na sequência dos incêndios que concretizam esse perigo é uma ameaça ao recurso solo a considerar neste contexto.

Conclusões

Os resultados, mostram uma redução desejável na ameaça ao recurso solo, quando considerado o acréscimo nas áreas em uso adequado da terra nas duas últimas décadas. Todavia, persiste ainda no território uma extensão significativa das áreas em sobre-exploração (44%), que representam um risco potencial de degrada-

ção do recurso solo. O acréscimo potencial de outras ameaças, como o perigo de incêndio, devido ao aumento de áreas combustíveis sujeitas a controle social escasso, os matos, merece especial consideração neste contexto, e a necessária atenção por parte dos decisores e atores regionais. Estas conclusões têm peso compatível com o detalhe da informação de base utilizada na análise, a qual é forçoso refinar em trabalhos futuros.

Referências

- Agroconsultores e Coba, 1991. Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. PDRITM, UTAD, Vila Real.
- CMB, 2014. Carta da Perigosidade de Incêndios do Distrito de Bragança. Câmara Municipal de Bragança. (versão SIG disponibilizada em Abril/2014).
- Figueiredo, T. de, 2013. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Série Estudos 84. IPB, Bragança.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F. e Pinheiro, H., 2014. Fire hazard and susceptibility to desertification: a territorial approach in NE Portugal. In: Lourenço, L (Ed.) Multidimensão e Territórios de risco. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Imprensa da Universidade de Coimbra. p. 117-121.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F. e Nunes, L.F., 2015. Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In: Figueiredo, T. de, Fonseca, F. e Nunes, L.F. (Eds) Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. Instituto Politécnico de Bragança. p. 81-95.
- IGP, 2010. Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007): Memória Descritiva. Instituto Geográfico Português, Lisboa.
- PANCD, 2011. Programa de Acção Nacional de Combate à Desertificação, revisão 2010/2011. Comissão Nacional de Combate à Desertificação, Lisboa.



Are the total amount and quality of soil organic matter enough to prevent the soil loss in volcanic regions?

Are the total amount and quality of soil organic matter enough to prevent the soil loss in volcanic regions?

¿La cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo son suficientes para prevenir la pérdida de suelo en las regiones volcánicas?

Zulimar Hernández^{1}, Tomás de Figueiredo², Juan Pedro Pérez Trujillo³, Pilar Carral¹, Ana M^a Álvarez¹, Gonzalo Almendros⁴*

Abstract

Different classical models have been formulated for explaining the role of soil organic matter (SOM) in aggregation. In recent years, the attention has been centred on conceptual models aiming to explain the influence of local disturbance on soil structural stability. Volcanic ash soils have been the subject of interest due to their recognized potential for accumulating stabilized SOM. However, a well-defined aggregate hierarchy has not even been defined in these soils due to their high content of amorphous oxides and volcanic glass. This research aims at evaluating the role of SOM in the formation of macroaggregates in volcanic soils under xeric environment. Fogo Island (Cape Verde) was chosen as the study area. A series of diagnostic properties were analysed by conventional techniques. Aggregate stability was determined by wet sieving, and the SOM composition was investigated by analytical pyrolysis. Preliminary results showed an increment in aggregate stability as a function of SOM content. However, soils showed weak structural stability, being easily crushed, lacking of fine-root biomass, resulting in high erosion susceptibility with high soil loss (values up to 10^5 kg ha⁻¹ year⁻¹). In these soils, the relative abundance of lignin-derived SOM is comparatively lower as regards soils developed on volcanic ash, so as a higher abundance of methoxyl-lacking aromatic and nitrogen-containing compounds was observed, which is possibly associated to low input of plant biomass and high microbial activity. The results suggest that the accumulation of lignin

¹Department of Geology and Geochemistry, Autonomous University of Madrid, Cantoblanco, 28049, Madrid, Spain, zulimar.hernandez@uam.es.

²Instituto Politécnico de Bragança (ESA/IPB), Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal.

³Department of Chemistry, University of La Laguna, Campus Ancheta, 38071, La Laguna, S/C Tenerife, Spain.

⁴MNCN, Spanish Council of Scientific Research, Serrano 115B, 28006 Madrid, Spain.

in soil over certain thresholds is mandatory to improve soil structural stability and to reduce soil loss. In fact, in soils where strong organo-mineral interactions play an important role in soil C stabilization, the high dependence between the composition of SOM and the intensity of erosion processes is expected.

Keywords: Macroaggregates, structural stability, analytical pyrolysis, lignin-derived compounds.

Resumen

Se han propuesto diferentes modelos para explicar el papel de la materia orgánica del suelo (MOS) en la agregación. En la actualidad, se presta especial atención a modelos conceptuales que permitan explicar la influencia de la perturbación local en la estabilidad estructural del suelo. En este sentido, los suelos volcánicos son objeto de interés dado su reconocido potencial como estabilizadores de la MOS. Sin embargo, aún no se ha definido un modelo de micro- y macro-agregación, debido a su alto contenido en óxidos amorfos y vidrio volcánico. Se plantea evaluar la función de la MOS en la formación de macroagregados en suelos volcánicos bajo condiciones xéricas. Se elige como área de estudio la Isla de Fogo (Cabo Verde). Una serie de propiedades diagnósticas son analizadas por técnicas convencionales. La estabilidad de los agregados es determinada por tamizado tras dispersión en agua y la composición química de la MOS es estudiada por pirólisis analítica. Los resultados preliminares mostraron el incremento en la estabilidad de agregados en función del contenido de MOS. Estos suelos presentan una débil estabilidad estructural, con alta friabilidad y baja resistencia a la penetración, así como con escasa contribución de raíces finas, resultando en una considerable susceptibilidad a los procesos erosivos, reflejada por las altas pérdidas de suelo ($> 10^5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La escasez de productos de pirólisis con origen en la lignina (principalmente metoxifenoles) frente la abundancia de compuestos aromáticos sin grupos metoxilo y de compuestos nitrogenados podría estar relacionada con el bajo aporte de biomasa de plantas vasculares y/o la alta actividad microbiana. Los resultados sugieren que la acumulación de lignina en suelos volcánicos, bajo ciertas condiciones ambientales, es necesaria para mejorar la estabilidad estructural y reducir las pérdidas de suelo. En efecto, en estos suelos donde las interacciones organo-minerales son importantes para la estabilización de C, se espera una elevada dependencia entre la composición de la MOS y la intensidad de los procesos erosivos.

Palabras clave: macroagregados, estabilidad estructural, pirólisis analítica, derivados de lignina.

Introduction

Different theoretical models have been formulated in the last few years for explaining the role of SOM in macro- and micro-aggregation (Six et al., 2004). Firstly, models based in the solid-phase reaction between clay, polyvalent cations and SOM as “building blocks”, where iron or aluminium play a relevant role as cementing agents between organic colloids and mineral fractions (Edwards and Bremner, 1967). On the other hand, those models applying the “aggregate hierarchy” concept postulate that particulate SOM is encapsulated in stable microaggregates within macroaggregates, with roots and fungal hyphae playing an important role as temporary “binding agents” in soil aggregation (Tisdall and Oades, 1982; Oades, 1984). In recent years, the attention has been centred on conceptual models aiming to explain the influence of mechanical disturbance on soil aggregation and C levels at different scales (Six et al., 2004).

Volcanic ash soils have been the subject of interest due to their recognized potential for accumulating stabilized SOM (Dahlgren et al, 2004). In fact, SOM could be quickly insolubilized into microaggregates through chemical binding of soluble humic precursors, considering the abundance of reactive, poorly crystalline minerals with large specific surface, viz allophane, imogolite or halloysite. In those soils, this mechanism may be acting as a chief soil C stabilization pathway, which is reflected in low soil C mineralization rates (Hernández and Almendros, 2012). However, a well-defined aggregate hierarchy has not been found in oxide-rich soils, and it has been postulated that oxides, rather than organic materials, act as dominant binding agents (Six et al., 2004).

In order to address the question on whether the content of organic matter is enough to avoid the soil loss in volcanic regions, we have approached the analysis of the role of SOM in the formation of macro-aggregates in volcanic regions under xeric conditions.

Material and methods

Study area: Fogo Island (Cape Verde, Africa) is located between 14.9° northern latitude and 24.3° western longitude, with a maximum altitude of 2,829 m a.s.l., abrupt orography with steep slopes, and a total area of 476 km (Fig. 1). The Island is of volcanic origin, with materials grouped into a basal complex and successive volcanic series, being the last eruption dated from 2014 (Fogo volcano). Basalts, trachybasalts, phonolites and pyroclastic materials are extensively represented in Island.

The climate is xeric subtropical under the influence of Atlantic wet and African dry winds. In terms of the altitude and orientation of the relief on the Island, two zones can be clearly differentiated: i) the North side, under the influence of trade

winds, with udic or ustic soil moisture regimes and ii) the South side, where the climate is more arid, with aridic or xeric soil moisture regimes. The annual temperature ranges between 20–22 °C and the annual precipitation is 300 mm, with sporadic rains mainly in summer months. The inputs of vegetal biomass are low, typical of xeric conditions. Representative volcanic ash soils from Fogo Island were sampled (Fig. 1): i) Regosols into the volcanic caldera (F-R), ii) Andosols in the Northern slope of old crater (F-A) iii) and Cambisols outside of volcanic cone (F-C) (WRB, 2014).

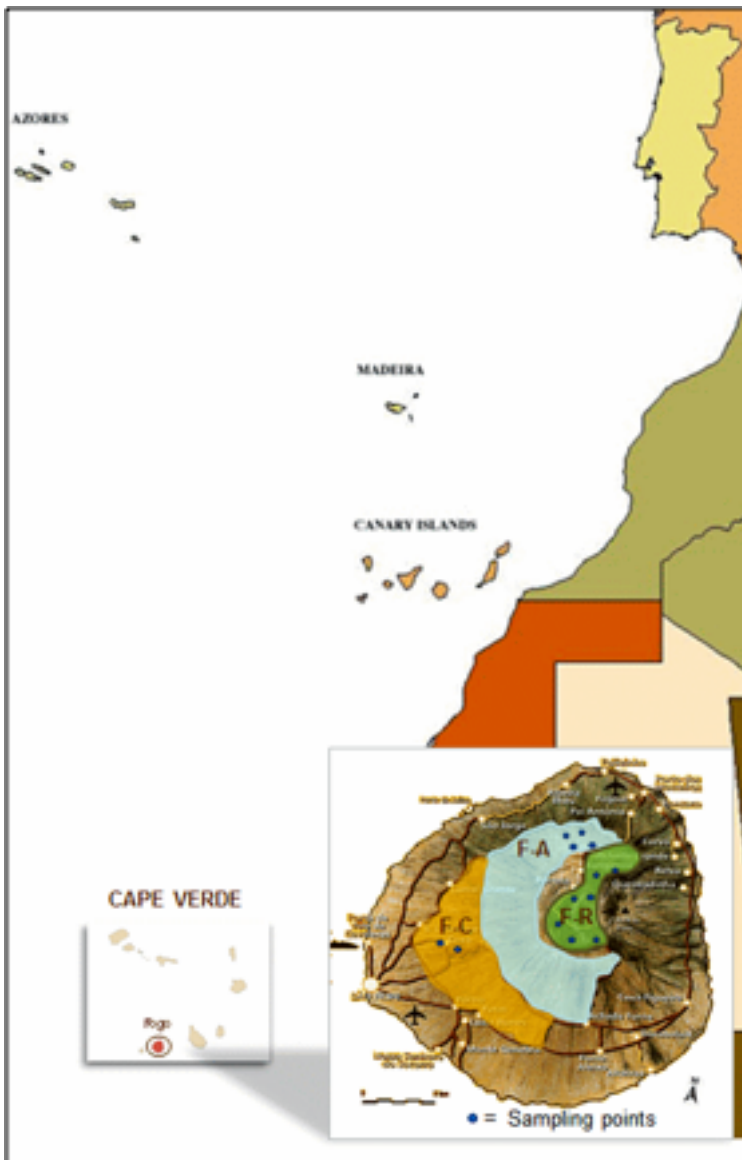


Fig. 1 – Geographical location of Fogo Island (Cape Verde), indicating the sampling points in study areas.

Soil physical properties and soil loss: Colour, structural stability and texture were determined in field conditions. Bulk density, granulometric analysis and aggregate stability were determined in the laboratory. Macro-aggregate stability ($> 250 \mu\text{m}$) was determined by wet sieving. The presence of crystalline minerals was confirmed by infrared spectroscopy.

Annual erosion rates were estimated from calculations of eroded soil volumes deposited in check dams and their corresponding catchment areas, both based on field measurements, from laboratory-determined bulk density of the soil samples collected, and from enquiries to local farmers for assessing in-filling time of the check-dams from their building date.

Soil physicochemical variables: A set of conventional physicochemical variables was analysed (SSS, 2006), such as amount of SOM, allophane content ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \frac{1}{2} \text{Fe}_2\text{O}_3$), sum of available bases, easily extractable aluminum (Al), pH and P retention. In order to evaluate the chemical composition of SOM, analytical pyrolysis was carried out on whole soil samples using a Pyrojector (SGE instruments) connected to a GC/MS system Finnigan Trace GC Ultra with a Trace DSQ mass spectrometer. The identification of the pyrolysis compounds was carried out by low resolution mass spectrometry and comparison with published and stored data (NIST and Wiley libraries).

Results and discussion

Preliminary results showed medium to high content of SOM in the volcanic soils analysed, with average values from 40 to 100 g kg^{-1} and a high stability of soil macroaggregates, around 80–90% (Fig. 2). So, the SOM amount (average values of 50 g kg^{-1}) increases with P retention and allophane content.

However, in field observations, the soils showed a poor structural stability, being the aggregates easily crushed, lacking of fine-root biomass, and showing high erosion susceptibility, with soil loss estimates ca. $10^5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}$.

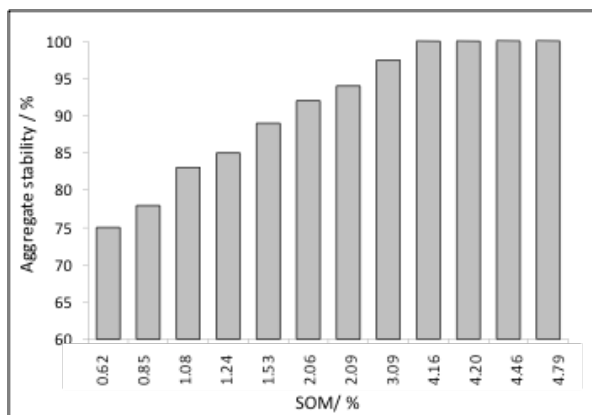


Fig. 2 – Comparison between the amount of SOM and aggregate stability in Fogo Island, Cape Verde.

Analytical pyrolysis of the soil samples yielded major amounts of carbohydrate-derived compounds (e.g., furaldehydes and cyclic ketones) and nitrogen compounds (including pyrroles, pyridines, indoles and N-derivatives of benzene), but also typical lignin-derived pyrolytic markers i.e, guaiacyl (G) and syringyl (S) units, in addition to methoxyl-lacking aromatic compounds (alkylphenols, alkylbenzenes and alkyl-naphthalenes) and typical alkyl compounds (alkanes, olefines and fatty acids) (Fig. 3).

The lignin-derived methoxyphenols (< 1% of the total chromatographic area) are mainly of the G type, with nearly absence of S-type rings, indicating intense microbial activity and fast degradation of lignin. The abundance of carbohydrate and protein-derived pyrolysis products (20–30% of the total chromatographic area) suggested a slow biodegradation of polysaccharides originated either from plant residues or newly formed from microbial metabolism, which in these soils would be favoured by hydromorphic conditions in a soil micro-porous matrix (Buurman et al., 2007). Some authors have suggested the “porosity exclusion principle” in order to explain how organic compounds of low-molecular size are able to stabilize soil microaggregates (Dexter, 1988).

The abundance of non-methoxylated aromatics (up to 60–70% of the total chromatographic area) and the practical lack of lignin-derived constituents are the main differences with those reported in other volcanic ash soils (Hernández and Almendros, 2012), which could be explained by high diagenetic transformation of the SOM associated to intense biogeochemical activity.

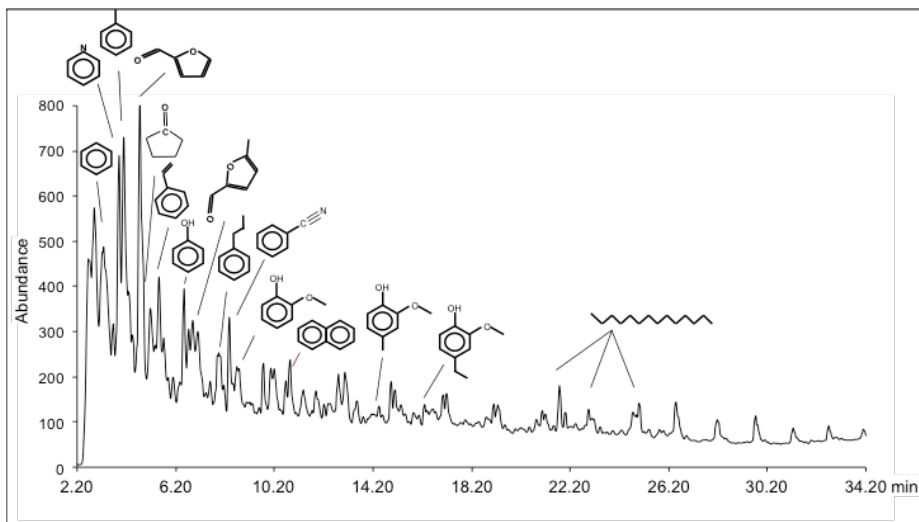


Fig. 3 – Pyrogram from Andosol (Fogo, Cape Verde) showing the structures of the major released compounds.

In the studied soils, we could postulate that SOM could be quickly stabilized in microaggregates through chemical binding of soluble humic precursors, in a soil matrix where polyvalent cations and Fe and Al oxy-hydroxides would play

an important role as cementing agents (model 1). However, it seems clear that the formation of stable macroaggregates requires a high input of fresh biomass acting as building agents in the structural organization of microaggregates into macroaggregates (Fig. 4).

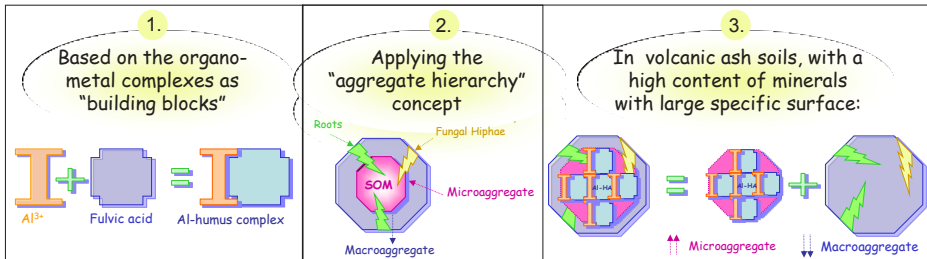


Fig. 4 – Classical theoretical models postulated for explaining the soil aggregation. In the studied volcanic ash soils, the preferential formation of microaggregates (via organo-metal complexes) within non-stable macroaggregates is postulated (model 3).

Conclusions

The importance of aliphatic SOM constituents in improving soil structure has probably been overemphasized in classical studies. Results suggest that the lignin-derived constituents and alkyl compounds are important in improving soil structure, as an alternative to agglomeration through microbial carbohydrate or polyuronids from roots, as well as aggregate protection by hydrophobic coatings of lipid compounds.

In volcanic ash soils, it seems clear that accumulation of lignin over certain threshold values is necessary for improving soil aggregation, structural stability and to reduce soil loss. In the soils studied, where strong organo-mineral interactions favour C stabilization at the microaggregate level and the formation of stable macroaggregates is not evident, it is expected a significant role of the molecular composition of the SOM on the intensity control of erosion processes.

Acknowledgements: Work financed by Spanish Project (CGL2013-43845-P), and supported by SEMACA Project (MAC INTERREG Program, 2007–2013).

References

- Buurman, P., Peterse, F., Almendros, G., 2007. Soil organic matter chemistry in allophanic soils: A pyrolysis-GC/MS study of a Costa Rican Andosol catena. *European Journal of Soil Science*, 58: 1330–1347.
- Dahlgren, R. A., Saigusa M., Ugolini F. C., 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, 82: 113–182.
- Dexter, A. R., 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11: 199–238.

- Edwards, A. P., Bremner, J. M., 1967. Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 18: 64–73.
- Hernández, Z., Almendros, G., 2012. Factors influencing organic matter biodegradability and C levels in agricultural soils on volcanic ash. *Soil Biology & Biochemistry*, 44: 130–42.
- Oades, J. M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76: 319–337.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneq, K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79: 7–31.
- SSS (Soil Survey Staff), 2006. *Keys to Soil Taxonomy*, 10th edition. Agricultural Handbook 436. U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.
- Tisdall, J. M., Oades, J. M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141–163.
- WRB (World Reference Base), 2014. *International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps*. IUSS Working Group. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

EACS 2015
Proteger as funções do solo -
- Assegurar a vida da Terra
IPCB/ESA 24 a 25 junho 2015

2015

Ano Internacional
dos Solos

