

# Base de dados georreferenciada das propriedades do solo

Maria C. Gonçalves<sup>1</sup>, Tiago B. Ramos<sup>2</sup> e Fernando P. Pires<sup>1</sup>

## Resumo

A base de dados PROPSOLO (PROPriedades do SOLO) foi criada com o objetivo de reunir toda a informação relativa às propriedades físicas, químicas e hidrodinâmicas dos perfis dos solos estudados no Departamento de Ciência do Solo da Estação Agronómica Nacional. Esta informação possui múltiplas aplicações, constituindo uma importante base para o estudo das propriedades analíticas dos solos portugueses. A base de dados foi desenvolvida em MySQL, estando dividida em 11 tabelas relacionais (DISTRITO, CONCELHO, FREGUESIA, SOLO, HORIZONTE, FISICA, QUIMICA, HIDRODINAMICA, SOLUTOS, METODOS e DESCRICAO) onde a consulta é realizada através da linguagem SQL. A PROPSOLO contém os dados analíticos de 261 perfis classificados em 10 grupos de solos de referência e em 52 famílias de solos diferentes. A base de dados dispõe também de 586 curvas de retenção de água,  $\theta(h)$ , e 263 curvas da condutividade hidráulica,  $K(h)$ . Dado a grande extensão de informação sobre as propriedades hidráulicas dos solos nacionais, a PROPSOLO tem tido como uma das suas principais aplicações, o desenvolvimento de funções de pedo-transferência, onde aquelas propriedades são estimadas indiretamente a partir das propriedades básicas do solo. Futuramente pretende desenvolver-se essas funções de pedo-transferência a partir de métodos

<sup>1</sup> INRB, I.P./ L-INIA, Unidade de Investigação de Ambiente e Recursos Naturais, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, Portugal;  
e-mail: maria.goncalves@inrb.pt; fernando.pires@inrb.pt

<sup>2</sup> CEER, Centro de Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal;  
e-mail: tiago\_amos@netcabo.pt

geostatísticos de modo a incluir a variabilidade do meio na estimação das propriedades hidráulicas.

**Palavras-chave:** funções de pedo-transferência, propriedades hidráulicas do solo, SQL, variabilidade espacial.

---

## 1. Introdução

A base de dados PROPSOLO (PROPriedades do SOLO) foi criada em 1997 com o objetivo de reunir toda a informação relativa às propriedades físicas, químicas e hidrodinâmicas dos perfis dos solos estudados no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Estação Agronômica Nacional (EAN). Esta informação, anteriormente dispersa por diversas teses de doutoramento, trabalhos de fim de curso, artigos científicos e relatórios, possui múltiplas aplicações e constitui uma importante base para o estudo das propriedades analíticas dos solos portugueses.

A primeira aplicação da PROPSOLO foi o desenvolvimento de funções de pedo-transferência para a obtenção indireta das propriedades hidráulicas do solo a partir de propriedades básicas do solo (Gonçalves et al., 1997, 1999), uma vez que, a determinação daquelas propriedades é realizada através de métodos morosos, dispendiosos, bastante trabalhosos e limitados ao tamanho das amostras colhidas para o efeito, restringindo a sua utilização devido à heterogeneidade do meio. De 2007 à data, a informação contida na base de dados tem sido alargada a outras propriedades físicas e químicas do solo (Ramos et al., 2007, 2011). Todos os perfis de solo foram entretanto georreferenciados tornando-se, a base de dados, compatível com um sistema de informação geográfica.

Apesar de várias modificações na sua estrutura relacional, a PROPSOLO continua a ter como principal objetivo o estudo das propriedades hidráulicas dos solos portugueses, seguindo os modelos das bases de dados internacionais dedicadas ao estudo daquelas propriedades, nomeadamente, a HYPRES (Wösten et al., 1999) e a UNSODA (Nemes et al., 2001).

Neste trabalho descreve-se a atual estrutura relacional da base de dados PROPSOLO e apresentam-se algumas estatísticas descritivas da variação das principais propriedades analíticas nela disponíveis.

## 2. Esquema Relacional da Base de Dados PROPSOLO

A base de dados PROPSOLO foi desenvolvida para o sistema MySQL (versão 5.0) sendo a sua consulta realizada através da linguagem SQL (*Structured Query Language*). A PROPSOLO está organizada em 11 tabelas relacionais (DISTRITO, CONCELHO, FREGUESIA, SOLO, HORIZONTE, FISICA, QUIMICA, HIDRODINAMICA, SOLUTOS, METODOS e DESCRICAO) para mais fácil consulta. O esquema relacional da base de dados PROPSOLO é apresentado na Fig. 1.

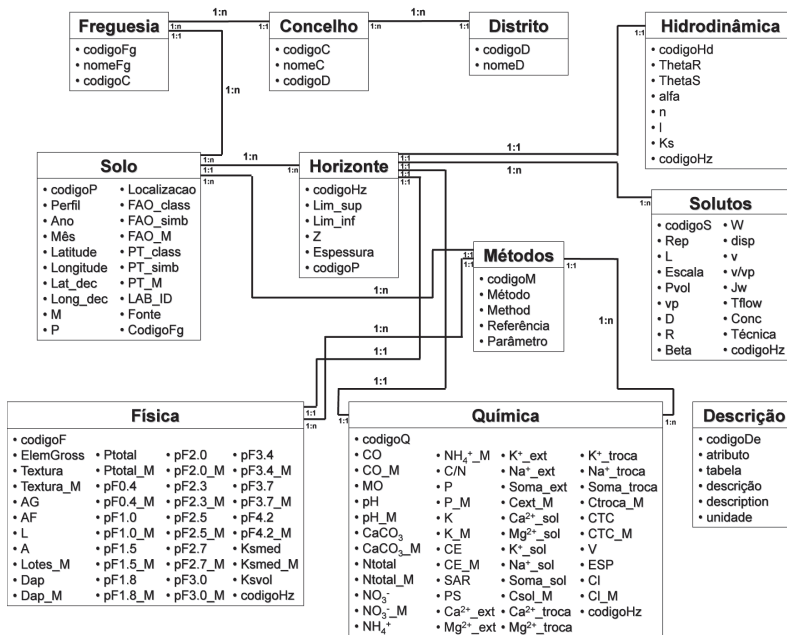


Fig. 1 Esquema relacional da base de dados PROPSOLO.

O corpo principal da base de dados é composto pelas tabelas SOLO e HORIZONTE. A tabela SOLO contém as referências de cada perfil de solo estudado, nomeadamente, a sua identificação, localização geográfica, data de amostragem, classificação do solo, referência bibliográfica onde os dados foram publicados, e identificação do laboratório responsável por esses dados.

A tabela HORIZONTE descreve os limites, profundidade média e espessura de cada camada/horizonte. Esta tabela está interligada com a

tabela SOLOS por uma multiplicidade de 1:n, ou seja, um perfil de solo pode conter um ou mais horizontes, mas um determinado horizonte faz apenas parte de um perfil de solo. A tabela HORIZONTE contém por isso, como chave estrangeira, a chave primária da tabela SOLO.

A tabela HORIZONTE está por sua vez associada às tabelas FISICA, QUIMICA, HIDRODINAMICA e SOLUTOS que agrupam as propriedades físicas, químicas e os parâmetros hidráulicos e de transporte de solutos no solo de cada horizonte/camada, respetivamente.

A tabela FISICA contém a informação relativa à granulometria, massa volúmica aparente, porosidade total, teores de água entre as sucções de -2,5 e -15 848,9 cm de água, e a condutividade hidráulica saturada de cada horizonte/camada.

A tabela QUIMICA agrupa por sua vez os teores de matéria orgânica, pH, teores de carbonatos, teores de azoto total, nítrico e amoniacal, teores de fósforo e potássio, teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  extraíveis, solúveis e de troca, a condutividade elétrica (CE), a razão de adsorção de sódio (SAR), a percentagem de sódio de troca (ESP), a capacidade de troca catiónica (CTC) e os teores de  $\text{Cl}^-$  de cada horizonte/camada.

A tabela HIDRODINAMICA reúne os parâmetros do modelo de Mualem-van Genuchten (van Genuchten, 1980) que descrevem as curvas de retenção de água e da condutividade hidráulica de cada horizonte/camada. Neste modelo,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  correspondem aos teores de água residual e na saturação [ $\text{L}^3.\text{L}^{-3}$ ], respetivamente,  $\alpha$  [ $\text{L}^{-1}$ ] e  $\eta$  [-] são parâmetros empíricos de ajustamento das curvas,  $\ell$  [-] é um parâmetro que descreve a conectividade/tortuosidade dos poros e  $K_s$  [ $\text{L.T}^{-1}$ ] é a condutividade hidráulica saturada.

A tabela SOLUTOS integra os parâmetros de transportes de solutos determinados em cada horizonte/camada de solo, nomeadamente, os coeficientes de dispersão, de retardação e a dispersividade (Gonçalves et al., 2001).

O tipo de ligação entre as tabelas FISICA, QUIMICA e HIDRODINAMICA e a tabela HORIZONTE é do tipo 1:1, isto é, cada camada/horizonte de solo é caracterizado apenas por um valor de uma determinada propriedade do solo (ex: massa volúmica aparente), assim como cada valor de uma determinada propriedade do solo diz respeito apenas a um determinado horizonte. São as tabelas FISICA, QUIMICA e HIDRODINAMICA que possuem como chave estrangeira, a chave primária da tabela HORIZONTE, para assim facilitar a remoção e atualização destas tabelas, alterações de campos e adição de novos atributos que venham a ser considerados de interesse. A ligação entre a tabela SOLUTOS e a tabela HORIZONTE é do tipo 1:n

permitindo também, dada à maior escassez de informação sobre estes parâmetros para os solos portugueses, a inclusão dos valores de todas as repetições analisadas para cada horizonte/camada.

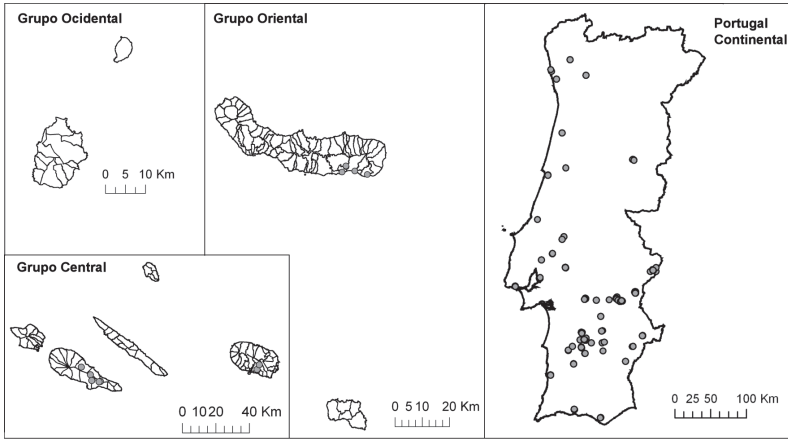
Acessoriamente, a tabela SOLO está também associada à tabela FREGUESIA, que por sua vez está associada à tabela CONCELHOS, a qual está ligada à tabela DISTRITOS. Estas tabelas com a divisão administrativa do país servem apenas para melhor localizar cada perfil de solo estudado. As tabelas SOLO, FISICA e QUIMICA estão relacionadas com a tabela METODOS permitindo a identificação das metodologias utilizadas na classificação dos solos e na determinação das suas propriedades analíticas. O tipo de ligação entre estas tabelas é do tipo 1:n uma vez que o mesmo método pode ser utilizado na determinação de vários atributos, ou seja, propriedades do solo. Essas ligações fazem-se através das chaves estrangeiras identificadas na Fig. 1 pelos atributos terminados na letra M. Finalmente, a tabela DESCRICAO contém a descrição, em português e inglês, de todos os atributos e tabelas incluídas na base de dados, não estando por isso associada a qualquer outra tabela relacional.

Todos os campos não preenchidos na base de dados PROPSOLO são representados pelo valor NULL. Esta situação é comum nas bases de dados de solos (Henley, 2006) e resulta de nem sempre ser possível realizar a amostragem de solo e/ou a respetiva análise laboratorial, ou ainda por o parâmetro correspondente a esse campo não ter sido avaliado nos estudos de solos em cujos objetivos não se incluía a obtenção desse parâmetro.

### **3. Variabilidade das Propriedades Hidráulicas dos Solos**

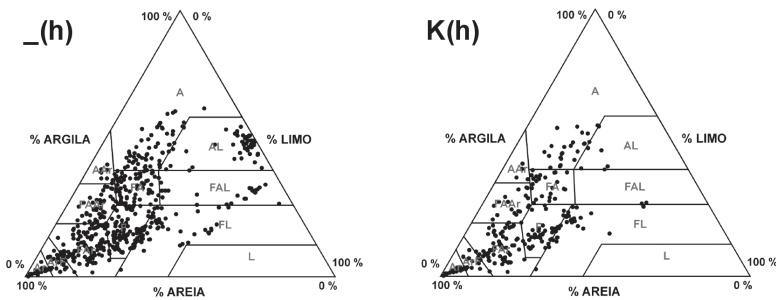
A base de dados contém 261 perfis classificados em 10 grupos de solos de referência (FAO, 2006) e em 52 famílias de solo (Cardoso, 1974) diferentes. Na Fig. 2 apresenta-se a distribuição geográfica dos 248 perfis de solo localizados em Portugal Continental e dos 13 perfis situados no Arquipélago dos Açores. A base de dados não dispõe ainda de informação relativa aos solos do Arquipélago da Madeira.

Para Portugal Continental, a PROPSOLO contém 558 curvas de retenção de água,  $\theta(h)$ , e 245 curvas da condutividade hidráulica,  $K(h)$ . Para o Arquipélago dos Açores, a base de dados contém apenas 28 curvas  $\theta(h)$  e 18 curvas  $K(h)$ . A distribuição das curvas  $\theta(h)$  e  $K(h)$  nas diferentes classes texturais (Gomes e Silva, 1962) é apresentada na Fig. 3.



**Fig. 2** Localização dos perfis de solo em Portugal Continental e no Arquipélago dos Açores.

A base de dados não contém informação sobre as propriedades hidráulicas dos solos de textura Limosa por, até à data, tal classe textural não ter sido encontrada nos estudos conduzidos pelo DCS. Todas as curvas existentes foram determinadas em amostras no estado natural.



**Fig. 3** Distribuição das curvas de retenção de água  $\theta(h)$  e de condutividade hidráulica  $K(h)$  no diagrama triangular de Gomes e Silva (1962). (Ar, Arenosa; ArF, Areno-Franca; FAr, Franco-Arenosa; F, Franca; FL, Franco-Limosa; FAa, Franco-Argilo-Arenosa; FA, Franco-Argilosa; FAL, Franco-Argilo-Limosa; AA, Areno-Argilosa; AL, Argilo-Limosa; A, Argilosa).

A variabilidade das propriedades hidráulicas dos solos em Portugal Continental foi objeto de estudo em Ramos et al. (2011). No Quadro 1 apresentam-se os valores médios, e respetivo desvio padrão, dos valores de retenção de água à capacidade de campo (aqui considerado correspondente a uma sucção de 100 cm de água) e no coeficiente de

**QUADRO 1 Valores médios ( $\bar{X}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) de retenção de água no pF 2,0 (sucção de 100 cm de água), no pF 4,2 (sucção de 15 848,9 cm de água) e dos parâmetros hidráulicos do modelo de Mualem-van Genuchten (van Genuchten, 1980) para as curvas de retenção de água,  $\theta(h)$ , e da condutividade hidráulica,  $K(h)$ .**

	Ar	ArF	FAr	F	FL	FAAr	FA	FAL	AAr	AL	A
N											
$\theta(h)$	17	27	106	97	58	47	71	24	8	46	57
K(h)	13	17	65	43	29	19	24	3	4	5	23
pF 2,0 (valor tomado como aproximado da capacidade de campo)											
$\bar{X}$	0,119	0,236	0,275	0,301	0,358	0,309	0,344	0,438	0,292	0,490	0,391
$\sigma$	0,072	0,054	0,052	0,054	0,066	0,047	0,046	0,079	0,088	0,056	0,044
pF 4,2 (coeficiente de emurhecimento)											
$\bar{X}$	0,027	0,058	0,118	0,142	0,151	0,195	0,219	0,230	0,172	0,301	0,271
$\sigma$	0,017	0,026	0,034	0,037	0,041	0,050	0,045	0,044	0,091	0,039	0,053
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )											
$\bar{X}$	0,021	0,013	0,010	0,023	0,004	0,057	0,049	0,016	0,073	0,034	0,087
$\sigma$	0,014	0,024	0,026	0,046	0,017	0,075	0,080	0,036	0,090	0,069	0,111
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )											
$\bar{X}$	0,396	0,406	0,408	0,417	0,441	0,383	0,420	0,500	0,414	0,563	0,482
$\sigma$	0,060	0,076	0,072	0,059	0,067	0,049	0,065	0,077	0,139	0,046	0,067
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )											
$\bar{X}$	0,049	0,064	0,173	0,227	0,153	0,147	0,247	0,097	0,184	0,063	0,482
$\sigma$	0,125	0,056	0,256	0,453	0,547	0,313	0,721	0,178	0,213	0,091	0,292
$\eta$ (-)											
$\bar{X}$	2,05	1,38	1,20	1,20	1,21	1,18	1,14	1,16	1,30	1,13	1,15
$\sigma$	0,81	0,16	0,13	0,12	0,10	0,14	0,09	0,06	0,23	0,05	0,12
$\ell$ (-)											
$\bar{X}$	-0,48	-1,43	-4,42	-5,07	-6,75	-5,64	-8,21	-9,84	-1,25	-8,18	-6,45
$\sigma$	1,15	1,71	2,47	2,43	2,37	4,73	2,77	3,01	1,39	3,46	3,66
$K_s$ (cm.d <sup>-1</sup> )											
$\bar{X}$	499,6	164,9	152,0	84,1	71,8	94,9	158,1	548,4	199,5	267,1	171,5
$\sigma$	438,6	142,2	173,6	127,1	85,1	139,1	504,2	775,8	232,1	204,5	195,2

N, Número de observações; Ar, Arenosa; ArF, Areno-Franca; FAr, Franco-Arenosa; F, Franca; FL, Franco-Limosa; FAAr, Franco-Argilo-Arenosa; FA, Franco-Argilosa; FAL, Franco-Argilo-Limosa; AAr, Areno-Argilosa; AL, Argilo-Limosa; A, Argilosa.

emurhecimento (correspondente a uma sucção de 15 848,9 cm de água) e dos parâmetros do modelo de Mualem-van Genuchten para cada classe textural disponível na base de dados PROPSOLO. Tanto os valores da capacidade de campo, como os do coeficiente de emurhecimento, aumentam com o aumento da fração de argila no lote textural. Contudo, os solos com maior capacidade de água utilizável, dado pela diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurhecimento, apresentam normalmente texturas medianas (ex: franco limosa e franco-argilo-limosa). Os parâmetros do modelo de Mualem-van Genuchten ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $\eta$ ,  $\ell$  e  $K_s$ ) disponíveis na base de dados PROPSOLO apresentam grande variabilidade, mesmo dentro de cada classe textural, nomeadamente os parâmetros  $\alpha$  e  $K_s$ . A quantificação da variabilidade das propriedades hidráulicas do solo requererá, no entanto, um trabalho contínuo e mais profundo, de modo a aumentar o número de curvas  $\theta(h)$  e  $K(h)$  disponíveis para este tipo de estudos.

Os solos do Arquipélago dos Açores, devido à presença de minerais de argila do tipo alofanas, apresentam características muito diferentes dos solos existentes em Portugal Continental, nomeadamente, a massa volúmica aparente que é muito baixa e a porosidade total e capacidade de retenção de água que são muito elevadas (Fontes et al., 2004). Por esse motivo, a análise das características hidrodinâmicas destes solos é

**QUADRO 2 Valores médios ( $\bar{X}$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) das principais propriedades químicas do solo disponíveis na base de dados PROPSOLO.**

Propriedade química	N	$\bar{X}$	$\sigma$
Matéria orgânica (%)	602	1,131	0,782
pH (-)	554	7,134	1,252
Azoto total (g.kg <sup>-1</sup> )	430	0,683	0,502
Fósforo (mg.kg <sup>-1</sup> )	343	17,042	26,526
Potássio (mg.kg <sup>-1</sup> )	358	69,525	59,551
Condutividade elétrica (dS.m <sup>-1</sup> )	270	2,989	5,199
Capacidade de troca catiónica (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	433	18,068	9,355
Razão de adsorção de sódio (meq.L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	230	9,910	13,822
Porcentagem de sódio de troca (%)	433	5,901	8,467
Dispersividade (cm)	24	6,200	5,100

N, Número de observações.



feita separadamente, sendo que a PROPSOLO não dispõe ainda de informação suficiente para esse efeito.

No Quadro 2 apresentam-se os valores médios, e respetivo desvio padrão, das principais propriedades químicas disponíveis na base de dados, nomeadamente, os teores de matéria orgânica, pH, teores em azoto total, fósforo e potássio, condutividade elétrica, capacidade de troca catiónica, razão de adsorção de sódio e percentagem de troca catiónica dos solos de Portugal Continental.

#### **4. Conclusões e Perspetivas Futuras**

Em Portugal, informação de qualidade sobre as propriedades analíticas dos solos é extremamente escassa. Assim, qualquer estudo ambiental ou agronómico que necessite de informações sobre os solos encontra logo à partida contrariedades que podem pôr em causa a credibilidade desses estudos.

Não existindo no país uma estrutura organizativa capaz de criar aquela informação, o Departamento de Ciência do Solo da Estação Agronómica Nacional incumbiu-se a si próprio de organizar os dados que produz, sendo que estes estão limitados a áreas muito restritas que são usualmente objeto de estudo em projetos de investigação.

A base de dados PROPSOLO foi, assim, criada em 1997, com o objetivo de reunir todas as características físicas, químicas e hidrodinâmicas dos perfis de solo estudados naquele departamento. A sua principal aplicação tem sido o desenvolvimento de funções de pedo-transferência para a determinação das propriedades hidráulicas e dos parâmetros de transporte de solutos a partir das propriedades básicas do solo.

Dado a sua natureza, existem naturalmente lacunas nos dados que deverão ser colmatadas no futuro, nomeadamente, escassa informação sobre a retenção de água no solo para certas classes texturais (limosa e argilo-arenosa), sobre a condutividade hidráulica insaturada para a totalidade das classes texturais, e sobre os valores de dispersividade para a generalidade dos solos portugueses.

Em breve, pretende também adicionar-se novas tabelas relacionais de modo a incluir todas as determinações realizadas para a curva de retenção de água, para a de condutividade hidráulica e para as curvas de breakthrough. Esta alteração permitirá mais facilmente, aos utilizadores da base de dados, o ajustamento dos dados analíticos a outros modelos que descrevem as propriedades hidráulicas ou o transporte de solutos no solo, e que não estão incluídos nas tabelas HIDRODINAMICA

e SOLUTOS. Pretende ainda desenvolver-se as funções de pedo-transferência já existente a partir da informação existente na PROPSOLO e de métodos geoestatísticos de modo a incluir a variabilidade do meio na estimação das propriedades hidráulicas.

## Agradecimentos

Tiago B. Ramos é financiado por uma bolsa FCT (contrato SFRH/BD/60363/2009).

## Bibliografia

- Cardoso, J.C. 1974. A classificação de solos de Portugal. *Boletim de Solos do S.R.O.A.* 17: 14-46.
- FAO. 2006. *World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication.* World Soil Resources Reports 103, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 140 p.
- Fontes, J.C.; Gonçalves, M.C.; Pereira, L.S. 2004. Andosols of Terceira, Azores: measurement and significance of soil hydraulic properties. *Catena* 56: 145-154.
- Gomes, M.P.; Silva, A.A. 1962. Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Garcia da Orta* 10: 171-179.
- Gonçalves, M.C.; Almeida, V.V.; Pereira, L.S. 1999. Estimation of hydraulic parameters for Portuguese soils. In: van Genuchten, M.Th.; Leij, F.; Wu, L. (Eds.), *Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media.* Part 2. University of California Riverside, CA, USA, pp. 1199-1210.
- Gonçalves, M.C.; Leij, F.J.; Schaap, M.G. 2001. Pedotransfer functions for solute transport parameters of Portuguese soils. *European Journal of Soil Science* 52: 563-574.
- Gonçalves, M.C.; Pereira, L.S.; Leij, J.F. 1997. Pedo-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils. *European Journal of Soil Science* 48: 387-400.
- Henley, S. 2006. The problem of missing data in geoscience databases. *Computers & Geosciences* 32: 1368-1377.
- Nemes, A.; Schaap, M.G.; Leij, F.J.; Wösten, J.H.M. 2001. Description of the unsaturated soil hydraulic database UNSODA version 2.0. *Journal of Hydrology* 251: 151-162.
- Ramos, T.B.; Gonçalves, M.C.; Martins, J.C.; Pires, F.P. 2007. PROPSOLO – Base de dados georreferenciada de propriedades do solo. *II Congresso Nacional de Rega e Drenagem*, 26-28 Junho, Fundão, [CD-ROM].

## **Agrorrrural: Contributos Científicos**

- Ramos, T.B.; Gonçalves, M.C.; Martins, J.C.; Pires, F.P.; Pereira, L.S. 2011. Propriedades hidráulicas do solo para as diferentes classes texturais. *Revista de Ciências Agrárias* (em publicação).
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-898.
- Wösten, J.H.M.; Lilly, A.; Nemes, A.; Le Bas, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90: 169-185.