



Fernando Fonseca Cruz

Doutor em Geografia e Planeamento Regional / Professor Auxiliar e Investigador  
Laboratório de Arquitectura – Centro de Estudos LabART / ULHT

## **Delimitação de Áreas Estratégicas de Proteção e Recarga de Aquíferos no âmbito da Reserva Ecológica Nacional, com recurso a funcionalidades de um SIG**

### **Resumo**

Este artigo constitui um ensaio teórico-prático com o propósito de delimitar áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos no contexto da delimitação da Reserva Ecológica Nacional, definida pelo DL166/2008, de 22 de agosto, com nova redação dada pelo DL 239/2012, de 2 de novembro, com recurso à tecnologia SIG e à informação geográfica oficial disponível.

As áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos são áreas geográficas que apresentam condições favoráveis à infiltração das águas pluviais e à recarga natural dos aquíferos. A sua importância relaciona-se com a regulação do ciclo hidrológico salvaguardando a quantidade e qualidade da água subterrânea, prevenindo as cheias e a escassez ou deterioração da água.

### **Abstract**

This work is a theoretical and practical test with the purpose of defining strategic areas of protection and groundwater recharge in the context of the delimitation of the National Ecological Reserve, defined by DL166/2008, august 22nd, with new

wording of DL 239/2012, November, 2nd, using the GIS technology and geographic information officer available.

The strategic areas of protection and groundwater recharge are geographic areas that are favorable to infiltration of rainwater and natural recharge of aquifers. Its importance relates to the regulation of the hydrological cycle preventing flooding and safeguarding the quantity and quality of groundwater and prevents its scarcity or deterioration.

## Introdução

A gestão dos recursos naturais deve ser encarada numa perspetiva de sustentabilidade, satisfazendo as necessidades do presente e garantindo a disponibilidade dos mesmos para as gerações vindouras. A água é um recurso finito não só pela quantidade disponível como pela qualidade para a satisfação das necessidades humanas.

Para se promover a sustentabilidade da água, enquanto recurso natural, há que permitir a realização dos diversos processos inerentes ao ciclo hidrológico, de modo pleno, evitando a interrupção do mesmo pela ocupação desordenada do território. A alternância frequente ou prolongada de secas ou de cheias são uma das consequências mais marcantes do desequilíbrio do funcionamento dos ecossistemas fruto, também, da intervenção humana.

A regulação do funcionamento do ciclo hidrológico terrestre é assim uma das preocupações do ordenamento do território defendidas pelo regime jurídico da reserva ecológica nacional (REN), onde as áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos (AEPRA) são uma das tipologias REN relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre.

Segundo o atual regime jurídico da reserva ecológica nacional, definido pelo DL166/2008, de 22 de agosto, com nova redação dada pelo DL 239/2012, de 2 de novembro, "as áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos são áreas geográficas que, devido à natureza do solo, as formações geológicas aflorantes e subjacentes e à morfologia do terreno, apresentam condições favoráveis à ocorrência de infiltração e recarga natural dos aquíferos e se revestem de particular interesse na salvaguarda da quantidade e qualidade da água a fim de prevenir ou evitar a sua escassez ou deterioração". O mesmo diploma defende que a "delimitação das AEPRA deve considerar o funcionamento hidráulico do aquífero, nomeadamente no que se refere aos mecanismos de recarga e descarga e ao sentido do fluxo subterrâneo e

eventuais conexões hidráulicas, a vulnerabilidade à poluição e as pressões existentes resultantes de atividade e ou instalações e os seus principais usos, em especial a produção de água para consumo humano.”

## Enquadramento e Objetivos

O principal objetivo deste ensaio prende-se com a aplicação de uma metodologia conducente à delimitação das AEPRAs, no âmbito do definido no atual regime jurídico da REN, à luz dos conceitos técnicos e científicos das ciências do ambiente e das ciências geográficas. Representa um ensaio teórico-prático com o propósito de delimitar AEPRAs dando cumprimento ao estabelecido no diploma da REN, baseando-se na proposta de “metodologia para a definição áreas de infiltração máxima”, de Oliveira, (2002).

A REN enquanto instrumento de gestão ambiental foi criada pelo DL 321/83, de 5 julho, com o objetivo de proteger os recursos naturais, em especial a água e o solo, favorecendo a conservação da natureza e da biodiversidade.

A primeira revisão da REN foi levada a cabo pelo DL 93/90, de 19 de março, sendo esta a estrutura biofísica e diversificada que garante a proteção de ecossistemas e a permanência e intensificação dos processos biológicos indispensáveis ao enquadramento equilibrado das atividades humanas.

Mais tarde o ordenamento jurídico da REN foi revisto pelo DL 180/2006, de 6 de setembro, introduzindo a novidade na delimitação da REN em suporte papel e informático e a sua disponibilização através Internet. Obriga também à necessidade de demarcação da REN em todos os Planos Especiais de Ordenamento do Território (PEOT) e Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT).

A segunda revisão deste regime jurídico foi elaborada ao abrigo do DL 166/2008, de 22 de agosto, sendo este instrumento entendido como uma restrição de utilidade pública que estabelece um conjunto de condicionamentos à ocupação, uso e transformação do solo e identificando os usos e ações compatíveis. Como principais novidades este diploma clarifica e objetiva as tipologias de áreas a integrar na REN. Estabelece os critérios para a delimitação, assinala as funções e identifica as ações admitidas na REN e estabelece a delimitação em função dos níveis estratégico (nacional e regional) e operativo (municipal). A proposta de delimitação da REN é cometida às Câmaras Municipais sendo acompanhada pela respetiva Comissão de Coordenação da Região (CCDR), em sede de Plano Diretor Municipal (PDM).

A delimitação desta figura de planeamento e ordenamento do território, tendo em conta a complexidade dos critérios técnicos exigidos só é possível em ambiente SIG

tirando partido das suas funcionalidades e potencialidades de pré-processamento (aquisição, tratamento e integração de informação) e geoprocessamento da informação geográfica (consulta e análise espacial e geração de informação).

## Metodologia de Trabalho para Delimitação de AEPRA

Tendo em conta os objetivos enunciados no diploma da REN, bem como a metodologia de trabalho referida, para efeitos de delimitação das AEPRA, considera-se relevante o uso da seguinte informação geográfica:

Carta Geológica de Portugal

Cartografia de Aptidão Aquífera de Formações Geológicas

Carta de Solos de Portugal

Carta de Ocupação do Solo

Cartografia topográfica.

Com base na informação cartográfica e tabelas de parâmetros oficialmente disponíveis considerou-se adequado, em termos metodológicos, o fluxo de trabalho que se propõe: Identificação e validação dos sistemas aquíferos a partir das estruturas geológicas e da cartografia disponível, incluindo a sua conversão analógico-digital, georreferenciação e posterior integração em SIG.

Determinação das áreas de máxima infiltração a partir de um índice de facilidade de infiltração ( $\phi$ ), construído de acordo com os seguintes parâmetros:

Potencial de escoamento do solo (PES), a partir da Carta de Solos e considerando os parâmetros disponíveis para cada tipo de solos;

Valor do declive (D), gerado a partir do modelo digital altimétrico (MDA).

Quantidade de água armazenável no solo (AGUT), determinada a partir da Carta de Ocupação do Solo e de parâmetros associados a cada tipologia de ocupação do solo.

Normalização das escalas dos critérios PES, D e AGUT numa única escala.

Cálculo do índice de facilidade de infiltração ( $\phi$ ).

Subtração das áreas impermeabilizadas (áreas edificadas).

Análise e validação dos resultados.

Seguidamente faremos a análise e descrição de cada uma das fases metodológicas.

### *Identificação e validação dos sistemas aquíferos a partir das estruturas geológicas*

A permeabilidade das rochas está relacionada com a capacidade de infiltração e de

circulação das águas subterrâneas. As águas subterrâneas preenchem os espaços intersticiais entre as fraturas e os grãos das rochas e do solo.

Do ponto de vista da permeabilidade as rochas podem ser classificadas como permeáveis em pequeno, medianamente permeáveis e fortemente permeáveis.

Nas rochas permeáveis em pequeno os poros são constituídos pelos vazios existentes entre os vários elementos constituintes. São rochas consolidadas tais como argilas, siltes, areias, seixos calhaus, etc.

As rochas medianamente permeáveis têm poros muito pequenos e em regra não comunicam entre si. As zonas de alteração e as fraturas conduzem ao desenvolvimento de porosidades e permeabilidades interessantes (ex: rochas plutônicas e metamórficas). A circulação da água tem lugar ao longo das diáclases e planos de xistosidade.

As rochas fortemente permeáveis são constituídas por uma rede de diáclases e de juntas de estratificação originadas fundamentalmente por dissolução. (PEREIRA, 2011). Os maciços calcários do modelado cárstico constituem rochas fortemente permeáveis.

Um aquífero é formado por um conjunto de rochas subterrâneas que armazenam e possibilitam a percolação da água no seu interior, permitindo o aproveitamento desta em quantidades economicamente aceitáveis. Assenta sobre um substrato impermeável que impede o escoamento da água pela base. Possui zonas de recarga onde ocorre a infiltração da água que os alimenta (Cf. Fig. 1).

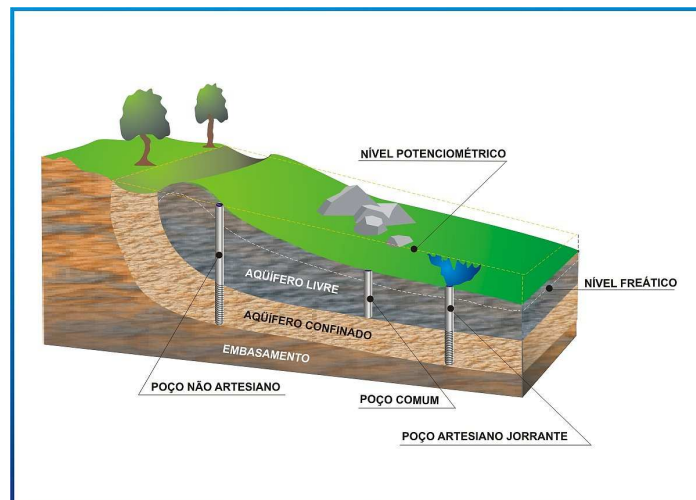


FIG.1 - Esquema de um aquífero. Fonte: LNEG, 2013, in [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt).

Podemos considerar dois grandes tipos de aquíferos: os livres e os confinados. Os aquíferos livres (não confinados ou freáticos) são aqueles em que a superfície freática entra em contacto direto com a atmosfera através dos poros dos solos estando à pressão normal e a sua recarga é feita por infiltração direta. Os aquíferos confinados têm água a elevada pressão porque o nível piezométrico situa-se acima do teto deste. A captação artesiana é repuxante não sendo necessário o bombeamento da água. Considerando a circulação da água podemos ainda agrupá-los em aquíferos porosos, fraturados e cársicos.

Nos aquíferos porosos a água circula através de poros. As formações geológicas podem ser detríticas (areias) podendo ser consolidadas por um cimento (ex: arenitos, conglomerados). Nos aquíferos fraturados e/ou fissurados a água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações geológicas podem ser granitos, gabros e filões quartzíticos.

Nos aquíferos cársicos a água circula em condutas resultantes do alargamento de diáclases por dissolução. As formações geológicas são fundamentalmente calcárias. Do ponto de vista da poluição estes aquíferos são muito vulneráveis devido a elevada capacidade de infiltração da água. O poder de dissolução da água está associado à elevada percentagem de dióxido de carbono. Do ponto de vista químico o calcário é um carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) mais ou menos impuro e insolúvel em água pura e alcalina. O carbonato de cálcio (sal insolúvel) é facilmente solubilizado pela ação das águas pluviais contendo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em solução, formando-se o bicarbonato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), sendo este ainda mais solúvel.

A dissolução do calcário é assim traduzida pela equação química e esquema seguintes:

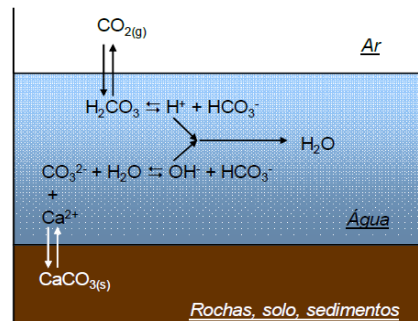
$$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{s})$$


FIG.2 - Sistema dióxido de carbono/carbonato. Fonte: LNEG, 2013, in [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)

A identificação dos sistemas aquíferos pode ser deduzida por interpretação da Carta Geológica de Portugal e respetiva Notícia Explicativa com apoio de outra cartografia temática resultante de estudos e prospeções.

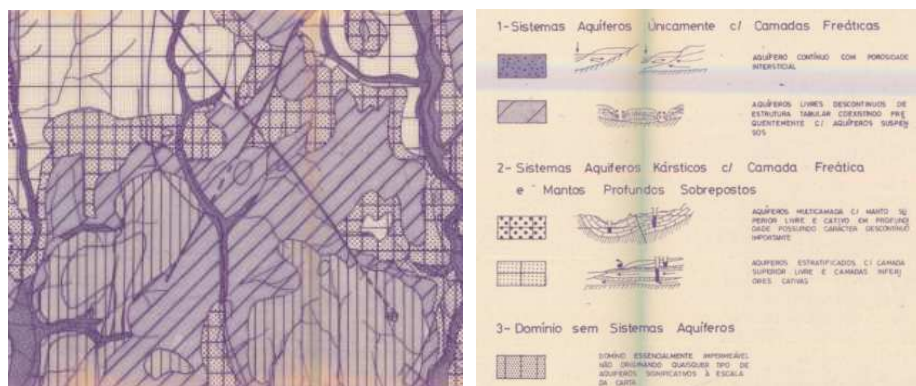


FIG. 3 - Formações geológicas com aptidão aquífera. Fonte: Carta de Aptidão Aquífera, LNEG, 1984 - imagem digitalizada.

Pelo exposto e por interpretação das Cartas Geológica de Portugal na Península de Lisboa os sistemas aquíferos podem ser classificados em:

Aquíferos fraturados, carsificados com comportamento livre, podendo apresentar-se confinado nos locais onde é coberto pelo CVL – Complexo Vulcânico de Lisboa;

Aquíferos porosos livres com relação hidráulica com a rede hidrográfica;

Formação com reduzida aptidão aquífera, podendo localmente apresentar pequenos níveis aquíferos limitados;

Formação essencialmente improdutivo, sem aquíferos à escala do município.

Tendo em conta as características geológicas e o potencial de recarga das formações geológicas subterrâneas, para efeitos de integração na REN devem ser considerados os “aquéferos fraturados, carsificados com comportamento livre, podendo apresentar-se confinado nos locais onde é coberto pelo CVL” e os “aquéferos porosos livres com relação hidráulica com a rede hidrográfica”, por apresentarem maior aptidão aquífera que os restantes.

### Potencial de escoamento dos solos

O potencial de escoamento dos solos (PES) refere-se à capacidade destes favorecerem a drenagem pluvial, tendo em conta a natureza geológica dos mesmos, bem como o declive.

Quanto maior for o potencial de escoamento de um solo ( $\uparrow$ PES) mais baixa é a capacidade de infiltração das águas pluviais ( $\downarrow \phi$ ), sendo dado pela seguinte relação:

$$\uparrow \text{PES} \Rightarrow \downarrow \phi$$

Conjugando as tabelas de escoamento dos solos (Cf. Quad. 2) e a Carta de Solos de Portugal podemos representar cartograficamente o potencial de escoamento e a capacidade de infiltração dos mesmos agrupando-os, em função do tipo de solo, em 4 classes: A, B, C e D.

Segundo a classificação hidrológica americana dos solos existem quatro classes de escoamento, conforme a definição seguinte (Cf. Quad. 1 e Fig. 5):

**Tabela: 1 – Classificação dos Grupos Hidrológicos dos Solos e características e capacidade de infiltração correspondentes.**

GHS	Características	Capacidade de
A	Solos arenosos e argilosos, profundos e bem drenados.	> 3,4 mm h-1
B	Solos arenosos, com pouca argila e orgânico.	2,5 e 3,4 mm h-1
C	Solos mais argilosos que o GHS B, com baixa permeabilidade	1,4 e 2,5 mm h-1
D	Solos com pouca argila, rasos, pouco desenvolvidos e muito impermeáveis.	< 1,4 mm h-1

**Fonte:** Elaborado com base nos grupos hidrológicos conforme Lombardi Neto *et al.* (1991).

Quadro 1 -Tipo de solos, potencial de escoamento e capacidade utilizável.

O potencial de escoamento de solos está diretamente relacionado com o tipo de solos. O Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA) do então Ministério da Agricultura e Economia estabelece os seguintes grupos de solos para Portugal (1): solos incipientes, solos litólicos, solos calcários, barros, solos argilosos pouco saturados, solos podzolizados, solos halomórficos, solos hidromórficos e solos orgânicos hidromórficos. Para cada tipo de solos é possível definir o respetivo potencial hidrológico (Cf. Fig. 4 e Quad. 2).

<sup>1</sup> - Cf. <http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/solos/>. - **Série SROA/CNROA/IEADR**





FIG. 4 - Famílias de solos. Fonte: Adaptado da Carta de Solos de Portugal, Série SROA/CNROA/IEADR.



FIG. 5 - Potencial de escoamento dos solos. Fonte: Adaptado da Carta de Solos de Portugal, Série SROA/CNROA/IEADR.

## Declive

O declive (D) traduz a inclinação do terreno em graus ou em percentagem. Está diretamente associado ao potencial de escoamento do solo bem como à capacidade de infiltração. Quanto maior for o declive, maior será o potencial de escoamento do solo e consequentemente menor a facilidade de infiltração das águas no solo. A relação verificada traduz-se da seguinte forma:

$$\uparrow D \Rightarrow \uparrow PES \Rightarrow \downarrow \phi$$

A determinação dos declives resulta do modelo digital altimétrico (MDA ou DTM) e respetiva reclassificação, segundo o número de classes e intervalos arbitrados, através da função de análise espacial slope do ArcGIS, do seguinte modo: DTM->Raster surface->slope (percent\_rise)->Reclassify->Raster to Polygon. O método utilizado baseia-se na rede irregular de triângulos (TIN-Triangular Irregular Network), com posterior conversão para vetor, na forma de polígonos (2) (Cf. Fig. 6).

Para o presente estudo foram consideradas as seguintes classes percentuais de declive, que espelham o gradiente de escoamento dos solos: ]0-2], ]2-6], ]6-12], ]12-18], > 18 (Cf. Fig. 7).

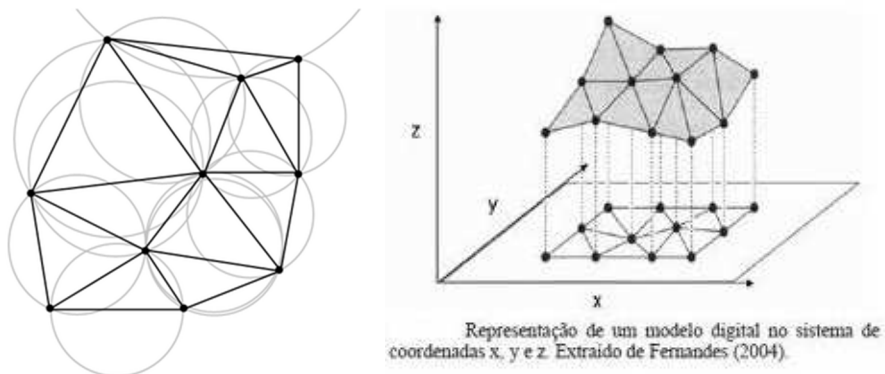


FIG 6 - Rede Irregular de triângulos. Fontes: [www.im.ufal.br](http://www.im.ufal.br) ; [www.ppegeo.igc.usp.br](http://www.ppegeo.igc.usp.br)

<sup>2</sup> - A determinação da rede irregular de triângulos (TIN) baseia-se no método da triangulação de *Delaunay* cujos pontos de entrada estão irregularmente distribuídos e a partir dos quais se determina uma rede irregular de triângulos que define de forma aproximada o relevo do terreno.

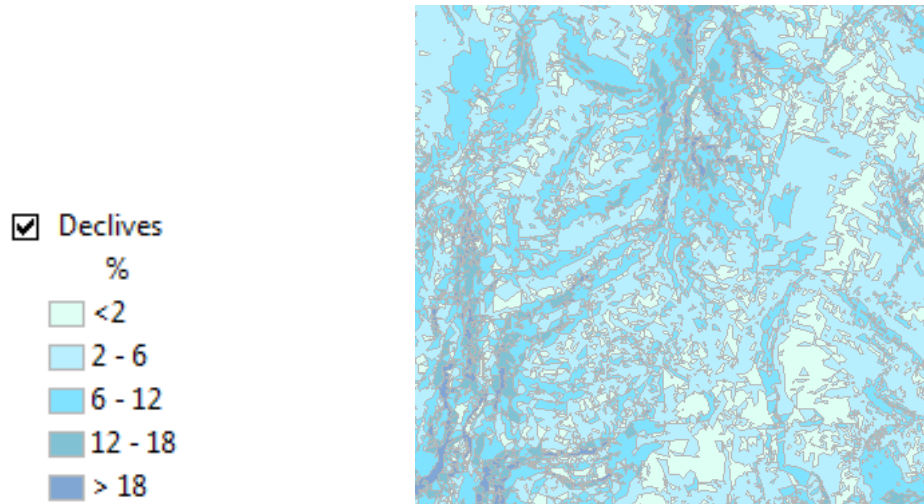


FIG. 7 - Carta de Declives. Fonte: autor.

*Quantidade máxima de água armazenável no solo*

A evapotranspiração é uma das componentes fundamentais do ciclo hidrológico, cuja função se relaciona com a libertação de água pelos organismos vivos, no estado gasoso, em particular as plantas, nos processos metabólicos (Cf. Fig. 8).

A quantidade máxima de água armazenável no solo (AGUT) disponível aos processos de evapotranspiração (E) depende da quantidade de água armazenável no solo: quanto maior for a evapotranspiração menor será a infiltração de água em profundidade. A relação pode ser esquematizada da seguinte forma:

$$\uparrow E \Rightarrow \downarrow \phi;$$

$$\uparrow AGUT \Rightarrow \downarrow \phi$$

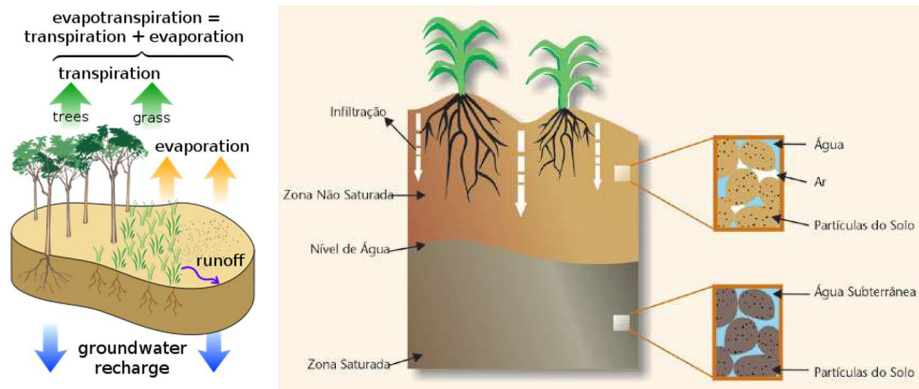


FIG 8 - Evapotranspiração e infiltração da água. Fonte: LNEG, 2013, in [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)

A quantidade máxima de água armazenável no solo é proporcional à profundidade máxima do solo ( $R_p$ ), que coincide com a profundidade atingida pelas raízes das plantas e à capacidade de solo utilizável ( $N_u$ ), ambas expressas em mm (Cf. Quad. 2). A correlação é traduzida pela expressão:

$$\uparrow \text{AGUT} \Rightarrow \uparrow (R_p, N_u)$$

A carta de ocupação do solo, com cobertura nacional, publicada em 2007 pelo então IGP- Instituto Geográfico Português (3) contém informação sobre os usos do solo em 3 níveis de desagregação espacial. Tendo em conta o tipo de coberto vegetal é possível fazer-lhe corresponder um valor médio de  $R_p$ , expresso em mm, conforme o Quad. 3.

<sup>3</sup> - O IGP integrou juntamente com a DGOTDU a DGT – Direção Geral do Território. O Decreto Regulamentar n.º 30/2012, de 13 de março, definiu a missão, as atribuições e o tipo de organização interna da DGT e Portaria n.º 224/2012 de 27 de julho a sua estrutura nuclear bem como as competências das unidades orgânicas.

Solo #	Tipo	nu	Solo #	Tipo	nu	Solo #	Tipo	nu	Solo #	Tipo	nu	Solo #	Tipo	nu
A	B	0,15	Atc	C	0,13	Pac	C	0,16	Ppx	C	0,18	Srt	C	0,10
Aa	D	0,12	Atl	C	0,10	Pag	D	0,13	Pqx	C	0,18	Srth	D	0,13
Aac	D	0,12	Atlc	C	0,07	Pagn	D	0,10	Ps	D	0,13	Ss	Z	-9
Ac	C	0,14	Bp	D	0,20	Pagp	D	0,13	Psn	B	0,18	Svc'	D	0,13
Al	B	0,08	Bpc	D	0,20	Pagx	D	0,14	Pt	B	0,10	Svqx	C	0,14
Alc	C	0,12	Bva	D	0,16	Par	B	0,13	Ptc	C	0,29	Va	D	0,15
Ap	A	0,01	Bvc	D	0,11	Par*	B	0,13	Pv	D	0,11	Vac	D	0,16
Aph	C	0,06	Ca	D	0,14	Pat	B	0,15	Pvc	C	0,14	Vag	D	0,12
Apr	A	0,06	Caa	D	0,13	Pb	D	0,25	Pvl	D	0,12	Val	C	0,12
Arb	D	0,01	Caac	D	0,18	Pbc	D	0,12	Pvx	C	0,16	Vc	D	0,14
Arc	D	0,04	Cac	D	0,15	Pc	C	0,19	Px	D	0,19	Vc'	D	0,12
Arct	D	0,03	Cal	D	0,08	Pc'	C	0,22	Pxr	D	0,15	Vcc	C	0,16
Arcx	D	0,01	Calc	D	0,08	Pca	D	0,10	Pz	A	0,06	Vcd	D	0,13
Ard	D	0,01	Cb	D	0,18	Pcd	D	0,21	Pzh	C	0,06	Vcm	D	0,09
Arg	D	0,01	Cbc	D	0,25	Pcg	C	0,12	Qx	B	0,25	Vcr	D	0,10
Argn	D	0,01	Cd	D	0,16	Pcn	C	0,13	Rc	B	0,09	Vcs	C	0,12
Arm	D	0,01	Cp	D	0,21	Per	D	0,12	Rg	A	0,05	Vct	C	0,08
Arp	D	0,01	Cpc	D	0,14	Pes	D	0,25	Rgc	B	0,08	Vcv	D	0,15
Arq	B	0,01	Cpv	D	0,20	Pet	D	0,13	S	Z	-9	Vcx	D	0,10
Ars	D	0,01	Eb	D	0,11	Pcx	D	0,12	Sag	D	0,20	Vdc	D	0,10
Art	D	0,03	Ec	D	0,18	Pcz	D	0,18	Sah	D	0,13	Vdg	D	0,11
Arx	D	0,01	Ed	D	0,07	Pdc	D	0,11	Sb	C	0,16	Vf	C	0,13
As	D	0,14	Eg	D	0,07	Pdg	D	0,10	Sba	C	0,14	Vgn	C	0,17
Asa	D	0,15	Egn	D	0,23	Pg	B	0,09	Sbac	C	0,14	Vl	B	0,10
Asac	D	0,14	Ep	D	0,14	Pga	B	0,09	Sbc	C	0,15	Vm	C	0,10
Asc	D	0,12	Eq	C	0,21	Pgm	B	0,15	Sbl	B	0,16	Vmc	D	0,12
Asl	D	0,13	Et	D	0,14	Pgn	B	0,14	Sblc	B	0,07	Vmg	C	0,12
Aslc	D	0,08	Etc	D	0,14	Pm	D	0,17	Scv	C	0,11	Vq	C	0,17
Asoc	Z	-9	Ets	D	0,13	Pmc	D	0,12	Sg	D	0,11	Vqx	C	0,14
Ass	D	0,17	Ex	D	0,12	Pmg	D	0,11	Sn	Z	-9	Vt	B	0,09
Assa	D	0,16	Mnga	B	0,12	Pmh	D	0,19	Sp	D	0,56	Vtc	D	0,15
Assac	D	0,28	Mnq	B	0,16	Pmn	C	0,11	Spb	D	0,17	Vtd	D	0,13
Assc	D	0,15	Mnqx	B	0,15	Ppg	C	0,11	Spc'	D	0,13	Vts	B	0,11
Assl	D	0,08	Mns	B	0,14	Ppm	D	0,14	Spg	D	0,49	Vx	D	0,21
Asslc	D	0,08	Mnsx	B	0,16	Ppn	B	0,10	Spqx	C	0,15	Vxr	C	0,13
At	C	0,12	Mnt	C	0,08	Ppq	B	0,18	Sq	B	0,14			
Ata	D	0,22	Mnx	C	0,16	Ppr	A	0,09	Sr	C	0,12			
Atac	D	0,14	Pa	D	0,18	Ppt	B	0,13	Sr*	C	0,12			

Nota: Tipo Z ou nu = -9, significa que o valor não foi atribuído

Fonte: adaptado de OLIVEIRA *et al.* (1997)

Quadro 2 - Caracterização do tipo de solos e da capacidade utilizável

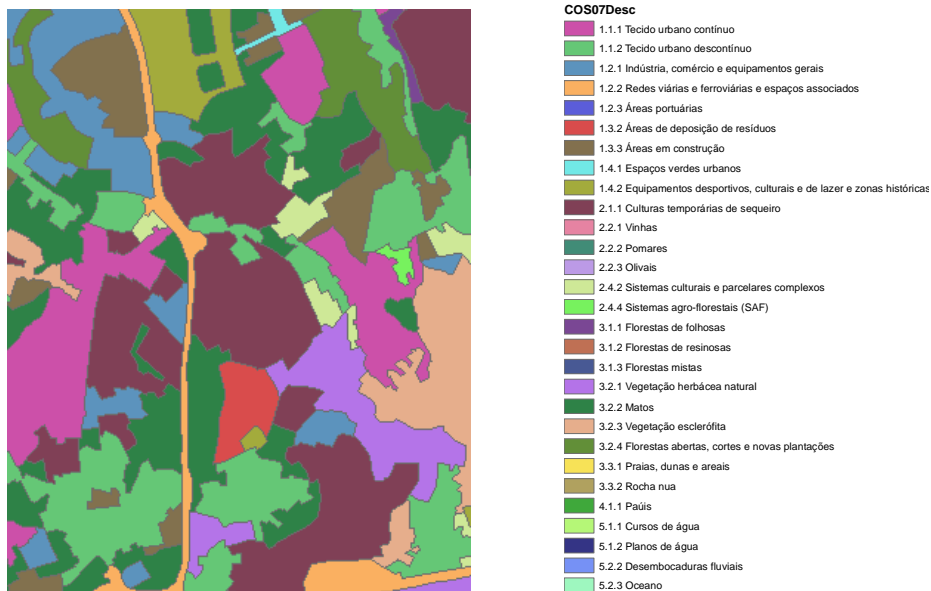


FIG 9 - Extrato da Carta de Ocupação do Solo. Fonte: COS, 2007

Código (COS07N3)	Descrição do uso	Profundidade média das raízes das plantas Rp (mm)
1.1.1	1.1.1 Tecido urbano contínuo	0
1.1.2	1.1.2 Tecido urbano descontínuo	200
1.2.1	1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais	200
1.2.2	1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	200
1.2.3	1.2.3 Áreas portuárias	200
1.2.4	1.2.4 Aeroportos e aeródromos	200
1.3.1	1.3.1 Áreas de extração de inertes	250
1.3.2	1.3.2 Áreas de deposição de resíduos	250
1.3.3	1.3.3 Áreas em construção	250
1.4.1	1.4.1 Espaços verdes urbanos	1000
1.4.2	1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	500

2.1.1	2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro	500
2.1.2	2.1.2 Culturas temporárias de regadio	500
2.1.3	2.1.3 Arrozais	600
2.2.1	2.2.1 Vinhas	1300
2.2.2	2.2.2 Pomares	1300
2.2.3	2.2.3 Olivais	1300
2.3.1	2.3.1 Pastagens permanentes	800
2.4.1	2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	1000
2.4.2	2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos	1000
2.4.3	2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	1200
2.4.4	2.4.4 Sistemas agro-florestais (SAF)	2750
3.1.1	3.1.1 Florestas de folhosas	2750
3.1.2	3.1.2 Florestas de resinosas	2750
3.1.3	3.1.3 Florestas mistas	2750
3.2.1	3.2.1 Vegetação herbácea natural	800
3.2.2	3.2.2 Matos	600
3.2.3	3.2.3 Vegetação esclerófita	600
3.2.4	3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações	2750
3.3.1	3.3.1 Praias, dunas e areais	250
3.3.2	3.3.2 Rocha nua	250
3.3.3	3.3.3 Vegetação esparsa	1200
3.3.4	3.3.4 Áreas ardidas	1200
4.1.1	4.1.1 Paúis	250
4.1.2	4.1.2 Turfeiras	250
4.2.1	4.2.1 Sapais	250
4.2.2	4.2.2 Salinas e aquicultura litoral	0
4.2.3	4.2.3 Zonas entre-marés	0
5.1.1	5.1.1 Cursos de água	0
5.1.2	5.1.2 Planos de água	0
5.2.1	5.2.1 Lagoas costeiras	0
5.2.2	5.2.2 Desembocaduras fluviais	0
5.2.3	5.2.3 Oceano	0

Quadro. 3 - Valor médio da profundidade das raízes das plantas, com base na COS 2007. Fonte: Elaboração própria com base na classificação COS

### Normalização dos critérios

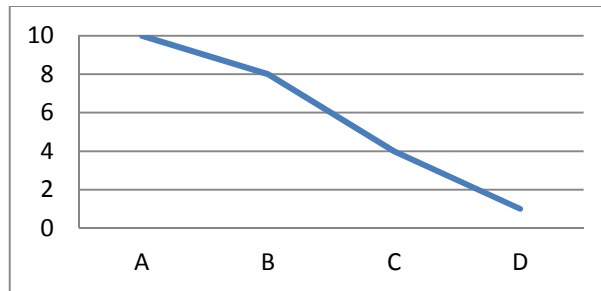
Os critérios PES (potencial de escoamento do solo), D (declive) e AGUT (quantidade máxima de água armazenável no solo, utilizável para a evapotranspiração), que entraram na construção do índice  $\phi$ , têm diferentes escalas de valor, cuja comparação e integração no índice carece de normalização.

Para se proceder à construção do indicador há que normalizar os valores de cada critério segundo uma mesma escala arbitrária, a variar entre 0 e 10 valores (Cf. Quad. 4).

O segundo passo visa a construção de funções-valor para cada um dos critérios (PES, D, AGUT), pretendendo-se encontrar os extremos (valor mínimo e máximo) e pontuar cada uma das classes de valor (Cf. Fig. 10) (4).

Critério PES (Potencial de escoamento do solo) - A função decrescente traduz a ideia de que quanto maior for o valor do potencial de escoamento do solo menor é a capacidade de infiltração.

P	VPES
A	10
B	8
C	4
D	1

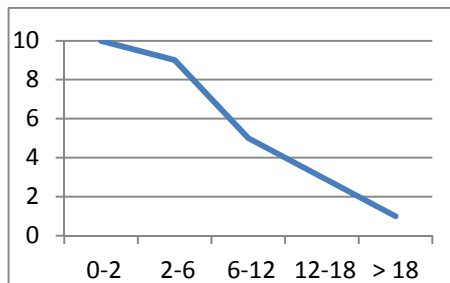


Critério D (Declive) - A função decrescente expressa a relação entre o declive e a capacidade de infiltração das águas pluviais, tal que quanto maior for o valor do declive menor é a capacidade de infiltração das águas pluviais.

<sup>4</sup> - A escala das ordenadas corresponde ao valor normalizado de 0 a 10 valores e a das abcissas às classes de cada critério.



D	VD
]0-2]	10
]2-6]	9
]6-12]	5
]12-18]	3
> 18	1



Critério AGUT (quantidade máxima de água armazenável no solo utilizável para a evapotranspiração) - A função decrescente permite observar que quanto maior for profundidade das raízes das plantas menor é a quantidade máxima de água armazenável no solo disponível aos processos de evapotranspiração.

AGUT	VAGUT
]0-50]	10
]50-100]	9
]100-150]	8
]150-200]	7
]200-250]	6
]250-300]	5
]300-350]	4
]350-400]	3
]400-450]	2
>450	1

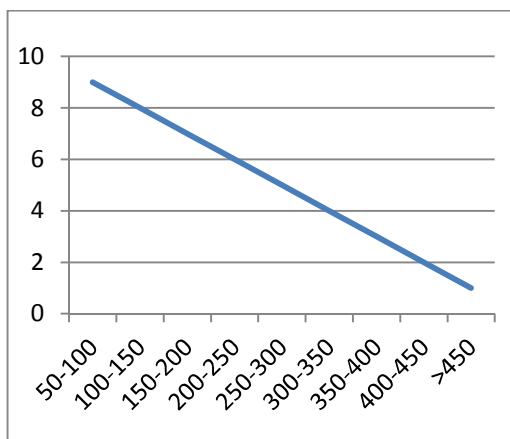


FIG 10 - Funções-valor de cada critério. Fonte: Autor.

A normalização dos critérios numa única escala de valor consta do quadro seguinte.

Critérios	Classes	Valores normalizados (0 ...10)
PES - Potencial Escoamento dos Solos (Classes)	(A...D)	VPES
	A	10
	B	8

	C	4
	D	1
D - Declive (%)	(%)	VD
	] 0 - 2 ]	10
	] 2 - 6 ]	9
	] 6 - 12 ]	5
	] 12 - 18 ]	3
	> 18	1
AGUT - Quantidade máxima de Água Armazenável no Solo Utilizável para a Evapotranspiração - (mm)	(mm)	VAGUT
	] 0 - 50 ]	10
	] 50 - 100 ]	9
	] 100 - 150 ]	8
	] 150 - 200 ]	7
	] 200 - 250 ]	6
	] 250 - 300 ]	5
	] 300 - 350 ]	4
	] 350 - 400 ]	3
	] 400 - 450 ]	2
> 450	1	

Quadro 4 - Principais critérios e suas ponderações. Adaptado de OLIVEIRA et al, 2002

### *Operações de geoprocessamento de informação geográfica*

As operações de geoprocessamento permitem o cruzamento de informação geográfica proveniente de diversos temas, em modo vetorial, e assim a determinação do índice de facilidade de infiltração.

O cruzamento de layers baseia-se na função de sobreposição interseção (5), cujo processamento foi elaborado em duas etapas. A primeira consiste no conjunto de operações lógicas com vista à determinação de áreas de infiltração máxima (Cf. Fig. 11) e a segunda fase no conjunto de operações lógicas conducentes à determinação das AEPRAs propriamente ditas (Cf. Fig. 12).

---

<sup>5</sup> - Interseção (intersect): operação lógica entre dois conjuntos de dados (temas) cujo resultado final são os elementos comuns aos dois temas.

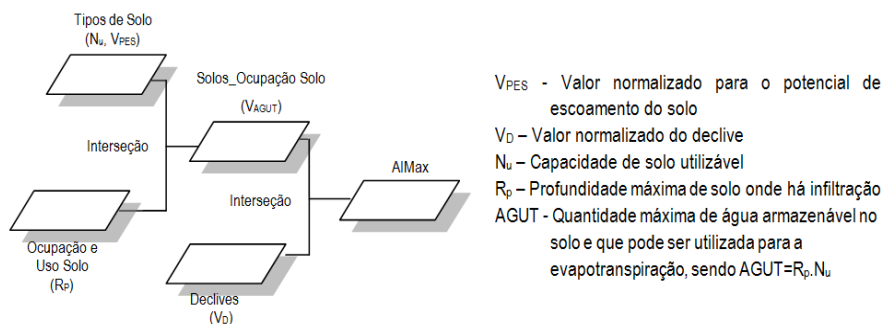


FIG 11 - Operações de geoprocessamento - primeira fase

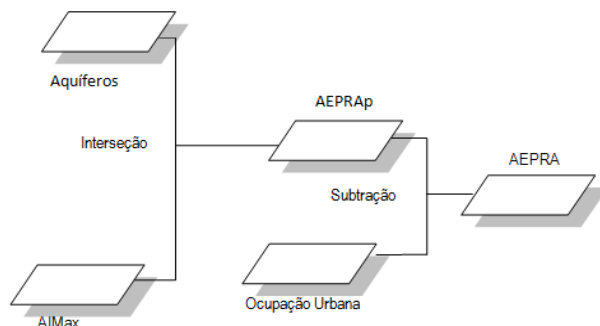


FIG. 12 - Operações de geoprocessamento - segunda fase

Às áreas potenciais de proteção e recarga de aquíferos foram subtraídas<sup>(6)</sup> às áreas impermeabilizadas pela ocupação urbana (edificadas e infraestruturadas), dado que os solos ocupados com construção impedem a infiltração das águas superficiais. Consideraram-se áreas impermeabilizadas, segundo a Carta de Ocupação do Solo, as tipologias seguintes (Cf. Fig. 13):

<sup>6</sup> - Para a subtração foi utilizada a função espacial *Symmetrical Difference* do Arc/Info, versão 10.1.



FIG 13 - Áreas impermeabilizadas a deduzir às áreas de máxima infiltração

### *Cálculo do índice de facilidade de infiltração*

A determinação das AEPRA resulta da construção e aplicação de um índice de facilidade de infiltração ( $\varphi$ ). O índice de facilidade de infiltração ( $\varphi$ ) resulta assim da agregação das variáveis anteriormente analisadas: o potencial de escoamento dos solos, o valor do declive e a quantidade máxima de água armazenável no solo utilizável na evapotranspiração. Utilizámos o índice de facilidade de infiltração segundo a metodologia defendida por Oliveira et al (2002), sem qualquer fator de ponderação, por considerarmos os critérios igualmente importantes.

$$\varphi = \Sigma (VPES+VD+VAGUT)$$

Para efeitos do presente estudo constituem áreas de máxima infiltração aquelas cujos valores de  $\varphi \geq 26$ , correspondendo aos valores mais altos de cada um dos critérios VPES, VD e VAGUT. Portanto correspondem às áreas de infiltração que contribuem de forma mais eficiente para a recarga dos sistemas aquíferos.

$\varphi$	Facilidade de infiltração
30	Máxima
26	Máxima
17	Moderada
11	Moderada

7	Baixa
5	Baixa
4	Baixa
3	Baixa
2	Baixa
1	Baixa

Quadro 5 - Índice de facilidade de infiltração

Assim, o índice de infiltração é máximo ( $\phi$  Max) quando se verificam as seguintes condições:

$$\phi \text{ Max (para } \phi \geq 26) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{VPES} = \{8, 10\} \rightarrow \text{classes de potencial hidrológico do solo} = \{A, B\} \\ \text{VD} = \{9, 10\} \rightarrow \text{classes de declive} = \{ ] 0 - 2 [ , ] 2 - 6 [ \} \\ \text{VAGUT} = \{9, 10\} \rightarrow \text{classes AGUT} = \{ ] 0 - 50 [ , ] 50 - 100 [ \} \end{array} \right.$$

### *Análise e validação dos resultados.*

Do ponto de vista cartográfico os resultados obtidos têm a sua correspondência espacial com as áreas não edificadas ou com edificação dispersa (espaços urbanos descontínuos) ou com usos do solo não urbanos compatíveis com a máxima infiltração das águas pluviais e que apresentam um declive suave.

A ocupação urbana indevida em solos com elevada capacidade de infiltração, pode resultar num retalhamento espacial das AEPRAs, pondo em causa o continuum ecológico e a função desta tipologia de REN em assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas hídricos e a redução do risco de cheias e inundação, entre outras.

A aplicação desta metodologia pressupõe a monitorização anualmente das áreas delimitadas como AEPRAs, em época de cheias e inundações, com o intuito de avaliar o comportamento do sistema hidráulico quando saturado.

A metodologia apresentada não se esgota aos recursos e algoritmos aqui utilizados. Complementarmente deveria ser apoiada com trabalhos de prospeção e sondagens no terreno para avaliação da capacidade de reserva dos aquíferos bem como da qualidade da sua água.

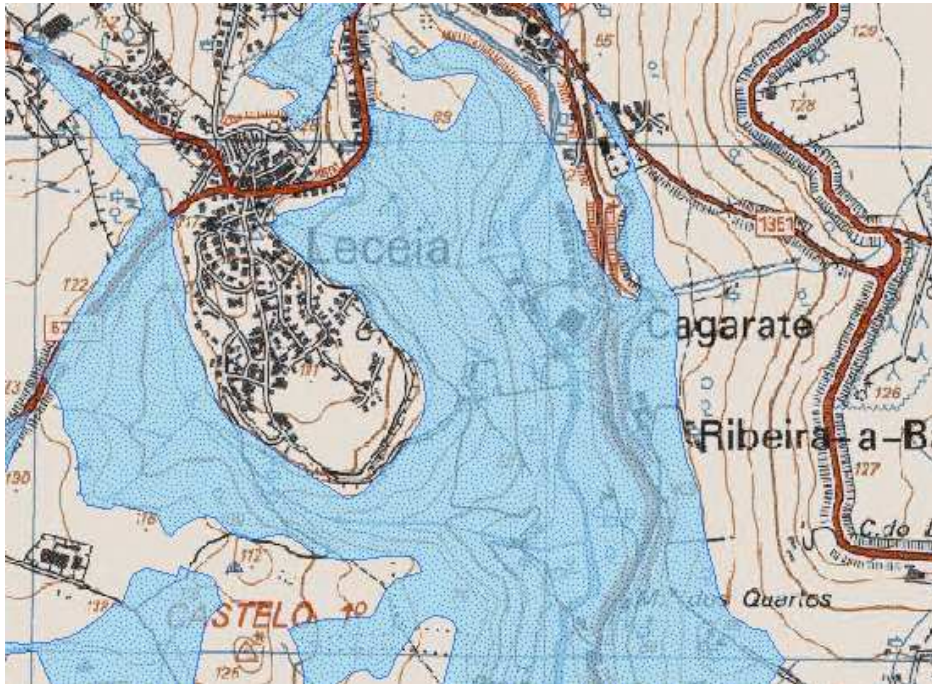


FIG 14 - Extrato de áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos. Fonte: Carta Militar de Portugal, 1:25000

## Conclusões

A proteção e recarga de aquíferos têm como finalidade garantir a manutenção dos recursos hídricos renováveis disponíveis e o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos subterrâneos; assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e da biodiversidade dependentes da água subterrânea; prevenir e reduzir os efeitos dos riscos de cheias e inundações, de seca extrema e da contaminação e sobre-exploração dos aquíferos e, ainda, a prevenção e redução do risco de intrusão salina, no caso dos aquíferos costeiros.

Na sequência deste estudo e atendendo a que as AEPRA constituem áreas non aedificandi, os planos municipais de ordenamento do território (PMOT) deverão apontar medidas de proteção dos sistemas aquíferos com medidas de combate à

poluição dos sistemas hídricos, bem como contenção dos índices de ocupação do solo (7), em espaços urbanos e urbanizáveis, afetos a zonas ameaçadas pelas cheias. Esta medida de mitigação do risco vai permitir uma maior capacidade de infiltração das águas pluviais, em período de cheias e inundações, minorando os danos económicos e ambientais.

Todo o trabalho desenvolvido reflete as potencialidades dos SIG e da cartografia numérica enquanto ferramentas imprescindíveis ao correto ordenamento do território. O novo enquadramento legal estabelecido pelo regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (RJIGT), definido pelo DL 316/2007 de 19 de setembro e pela Lei 56/2007 de 31 de agosto, estabelece a necessidade de disponibilização de informação recorrendo ao uso das tecnologias de informação, incluindo a Internet. Do mesmo modo o regime jurídico da REN estabelece a necessidade do uso da tecnologia SIG para a delimitação da Reserva Ecológica Nacional.

A tecnologia SIG afirma-se, assim, como ferramenta ao serviço dos processos de decisão. Trata a informação geográfica de forma integrada, permitindo a articulação dos sistemas de gestão territorial (IGT).

## Bibliografia

- Almeida, C. et al, (1991), Modelação de Processo Hidrogeoquímicos Ocorrentes nos Aquíferos Carbonatados da Região de Lisboa-Cascais-Sintra, Hidrogeologia y Recursos Hidráulicos, t. XVII, 00.289-304
- Almeida, C. et al, (2000), Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Vol. III, Centro de geologia, INAG, Lisboa.
- CREN, (2009), Harmonização de definições e critérios de delimitação para as várias tipologias de áreas integradas em REN, Documento enquadrado pelo DL 166/2008, de 22 de Agosto, Secretariado Técnico da Comissão Reserva Ecológica Nacional, DT.01.2009, v 1.1., Setembro 2009, Lisboa.
- Cruz, Fernando F., (2008), Tecnologias de Informação Geográfica, Análise e Monitorização de Sistemas de Territoriais de Nível Municipal, Dissertação apresentada para a obtenção de Grau de Doutor em Geografia e Planeamento Regional,

---

<sup>7</sup> - Exprime a relação entre a área de solo ocupada com edificado e a área de intervenção total (cf. DR n° 9/2009, de 29 de maio, quadro n° 2, ficha n° 35.

Especialidade de Novas Tecnologias em Geografia, FCSH/UNL, 482: 106-108.

- INAG/MA, (1999), Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, 1ª fase, Análise e diagnóstico da Situação de Referência, Vol III – Análise, Parte A – Subsistema Hidrológico, HP, GIBB, PROCESL, Hidrorumo.
- Midões, Carla e Costa, Augusto, (2011), Parecer Sobre as Formações Geológicas com Aptidão Aquífera do Concelho de Oeiras, LNEG.
- Ministério da Habitação e Obras Públicas, (1981), Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal, M.H.O.P.
- Monteiro, Carlos B. Ribeiras dos Concelhos de Oeiras e Cascais, CMO, 1987.
- Oliveira, et al., (2002), “Proposta de uma Metodologia para a Definição Áreas de Infiltração Máxima”, Comunicação apresentada no 6º Congresso Nacional da Água, promovido pela APRH.
- Oliveira, et al., (1997), Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com base na Aplicação do Método DRASTIC, Relatório Final, LNEC, Lisboa, Rel. 60/97-GIAS, 535p.
- Pereira, Pedro, (2011), Agentes Modeladores do Relevo, Tópico 3 (parte II), in Material Didático da Disciplina Geologia II, Licenciatura em Ciências do Ambiente, 2011/2012, UAb.
- Pimenta, Maria T., (1998), “Caracterização da Erodibilidade dos Solos a Sul do Rio Tejo”, INAG/DSRH.
- Pimenta, Maria T., (1998), “Diretrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG, Factor Cultural C e Factor de Erodibilidade do Solo K”, INAG/DSRH.
- Ramalho. M. M. et al, (2001), Carta Geológica de Portugal, Notícia Explicativa da Folha 34C – Cascais, IGM, Lisboa.
- Lombardi Neto, F. et al, (1991), Terraceamento Agrícola. Boletim Técnico 206, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI, Capinas, 39p.

#### *Metadados de Informação Geográfica e informação geográfica oficial ou homologada*

- Sistema de referência da informação geográfica: ERTS89TM06.
- Formato dos dados: Geodatabase MSAccess.
- Carta de Aptidão Aquífera de Formações Geológicas, LNEG, 1984.
- Carta de Ocupação do Solo (COS), Folhas 430 e 431, IGP, 2007.
- Carta de Solos de Portugal, 1:2000, Folhas 430 e 431, (suporte digital), (CNROA/SROA)/DGADR.
- Carta Geológica de Portugal, Folhas 430 e 431, escala 1:25000, (suporte digital), (IGM) INETI, 2009