

QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RECARGA NO HIDROSSISTEMA CÁRSICO DE DEGRACIAS-SICÓ A PARTIR DO MÉTODO APLIS: ABORDAGEM METODOLÓGICA INICIAL

GROUNDWATER RECHARGE ASSESSMENT AND SPATIAL DISTRIBUTION IN DEGRACIAS- SICÓ KARST AQUIFER BASED ON APLIS METHOD: FIRST METHODOLOGICAL APPROACH

Paiva, I., *CEGOT / DGT UC*, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Departamento de Geografia e Turismo da Universidade de Coimbra, *Coimbra, Portugal*, *isabelrp@ci.uc.pt*

Ramos, C., *CEG / IGOT UL*, Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, *Lisboa, Portugal*, *catramos@campus.ul.pt*

Cunha, L., *CEGOT / DGTUC*, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Departamento de Geografia e Turismo da Universidade de Coimbra, *Coimbra, Portugal*, *luciogeo@ci.uc.pt*

RESUMO

A recarga dos hidrossistemas cársicos reveste-se de uma profunda complexidade devido, em grande parte, à sua dualidade (alógena/autógena; concentrada/difusa) pelo que a determinação dos valores bem como da sua distribuição espacial requerem a aplicação de métodos muito específicos, adaptados à particularidade destes meios. Neste artigo procuraremos determinar o valor da recarga bem como a sua distribuição espacial no hidrossistema cársico de Degraças-Sicó (centro-litoral de Portugal) com base no método APLIS (acrónimo de **A**litud, **P**endientes, **L**itología, **Á**reas Preferenciales de **I**nfiltración e tipo de **S**uelo), adaptando-o às características da área em estudo.

ABSTRACT

The groundwater recharge of karst aquifers is a highly complex process due to the duality of karst recharge: *allogenic* or *autogenic*, and as either *concentrated* or *diffuse*. Thus, the assessment of karst aquifer recharge and its special distribution requires specific methods which take into consideration karst hydrogeological particularities. The aim of this paper is to determinate the mean annual recharge and map its spatial distribution in a karst aquifer of central-western region of Portugal (Degraças-Sicó karst aquifer) based on the APLIS methodological approach (considering altitude, slope, lithology, preferential infiltration areas and soil type). The method was adapted to study area karst characteristics.

Palavras-chave: hidrossistema cársico; recarga subterrânea; método *APLIS*

Keywords: karst aquifer; groundwater recharge; *APLIS* method

1. INTRODUÇÃO

A recarga de aquíferos significa, em termos gerais, a quantidade de água que circula subterraneamente até atingir a toalha freática. No entanto, a recarga de hidrossistemas cársicos caracteriza-se por uma enorme especificidade e elevada complexidade dada a existência de vários tipos de recarga que podem funcionar em simultâneo. Essa profunda complexidade deve-se: (i) à dualidade dos processos de infiltração na superfície, podendo distinguir-se entre modo *difuso* (carácter lento, prolongado e distribuído espacialmente) e modo *concentrado* (maior velocidade e carácter pontual); (ii) às diferentes proveniências da água, ou seja, *autogénica* (proveniente da precipitação caída apenas na bacia cársica) ou *alogenica* (escoamento superficial proveniente de áreas não-cársicas adjacentes, sendo por norma rápida e concentrada. Subterraneamente, provém de aquíferos vizinhos não-cársicos ou de rochas permeáveis que se sobrepõem a rochas carbonatadas carsificadas (Gunn, 1983); (iii) à dualidade das formas de circulação interna na zona não-saturada (rápida e concentrada – *quick flow/vadose fast flow* ou lenta e difusa - *slow flow/difuse flow/vadose percolation*); (iv) à existência de uma zona subcutânea (epicarso) que armazena água e regula o tempo e o modo como a água infiltrada percorre a restante zona não-saturada.

Nos hidrossistemas cársicos, a recarga pode ser estimada utilizando diferentes métodos, mais ou menos complexos, consoante a quantidade e o tipo de informação disponível (Andreu *et al.*, 2011). Os métodos mais convencionais e mais amplamente testados no carso determinam a recarga a partir do balanço hidrológico (por exemplo Jeannin e Grasso, 1995; Petric, 2002; Scanlon *et al.*, 2002; Carter e Driscoll, 2006; Zagana *et al.*, 2007), de métodos empíricos (Kessler, 1967; Andreo *et al.*, 2008; Pardo-Igúzquiza *et al.*, 2012; Allocca *et al.*, 2014) e de métodos hidroquímicos e isotópicos (por exemplo Leaney *et al.*, 1995; Wood *et al.*, 1995; Perrin *et al.*, 2003; Aquilina *et al.*, 2006; Ozyurte e Bayari, 2008; Hartmann *et al.*, 2012). Todos estes métodos fornecem apenas um valor numérico de recarga para o conjunto do hidrossistema, expressando o volume médio anual de água ou a percentagem de precipitação (taxa de recarga) que entra no hidrossistema. Acresce ainda o facto de nem sempre terem em consideração as particularidades hidrogeológicas dos meios cársicos e de não fornecerem qualquer distribuição espacial da recarga, já que a representação cartográfica está ausente.

O método APLIS (Andreo *et al.*, 2008) é o acrónimo das características intrínsecas dos hidrossistemas cársicos utilizadas - *Altitud (A)*; *Pendiente (P)*, *Litología (L)*, *Áreas preferenciales de infiltración (I)* e tipo de *Suelo (S)* - e possibilita, em simultâneo, o cálculo da taxa de recarga anual média e da sua repartição espacial. Trata-se de um método empírico desenvolvido em oito aquíferos carbonatados na Cordilheira Bética (sul de Espanha), representando uma ampla variedade de características climáticas e geomorfológicas, tendo-se obtido muito bons resultados e considerando-se, por isso, um método adequado ao estudo de hidrossistemas cársicos noutras locais. O processo de cálculo e cartografia é efectuado a partir da sobreposição e cruzamento, em ambiente SIG, de 'camadas de informação' correspondentes a cada uma das cinco variáveis consideradas. Neste artigo procuraremos, mediante a sua aplicação ao hidrossistema cársico de Degracias-Sicó, mostrar a aplicabilidade do método APLIS mesmo quando se procede a ajustes em função da especificidade de um determinado hidrossistema, como ocorreu no presente estudo.

2. O HIDROSSISTEMA CÁRSICO DE DEGRACIAS-SICÓ

O hidrossistema cársico de Degracias-Sicó, com uma área de quase 120 Km², localiza-se na região centro-litoral de Portugal e corresponde a um conjunto de relevos que se salienta na topografia regional e que compreende as Serras de Sicó (parte sul - 553 m) e do Rabaçal

(parte norte - 532 m) e o Planalto de Degracias-Alvorge, superfície irregular que se desenvolve a cotas entre os 280 e os 350 m e que separa estas duas serras (Figura 1). O carácter aplanado de grande parte deste planalto favorece a infiltração, o que, conjugado com as características lito-estruturais e a morfologia cársica da área (em particular os algares nos sectores oeste e sudoeste), promove fortemente a entrada de água para o domínio subterrâneo, sendo, nos algares, uma recarga rápida e relativamente concentrada. O hidrossistema cársico em estudo corresponde, no essencial, a calcários puros e compactos do Jurássico médio (Batoniano e Bajociano) bastante carsificados, enquadrados na base por calcários margosos do Aaleniano (de permeabilidade mais reduzida) e, superiormente, pelo Oxfordiano (com características progressivamente mais margosas). De salientar a presença, ainda que em pequenos retalhos, de Arenitos da Figueira da Foz (Cretácico inferior) e depósitos poligénicos vermelhos (Cenozóico) que preenchem depressões cársicas no interior da área em estudo. A sua natureza greso-conglomerática tem grande importância no processo de recarga, pela interferência na velocidade de infiltração, tanto mais que se situam no sector mais aplanado da área de recarga. Também a fracturação assume crucial importância na hidrodinâmica deste sistema cársico, dada a existência de um grande e denso conjunto de falhas e fracturas com diferentes orientações, em particular na frente ocidental do Maciço de Sicó, originadas por uma tectónica essencialmente de fracturação e extremamente complexa, responsável pelo soerguimento do Maciço (Cunha, 1988). Estes acidentes têm uma enorme influência no processo de recarga (locais preferenciais de infiltração) e parecem constituir caminhos preferenciais na circulação subterrânea (encaminhamento da água até às exsurgências do bordo oeste do hidrossistema).

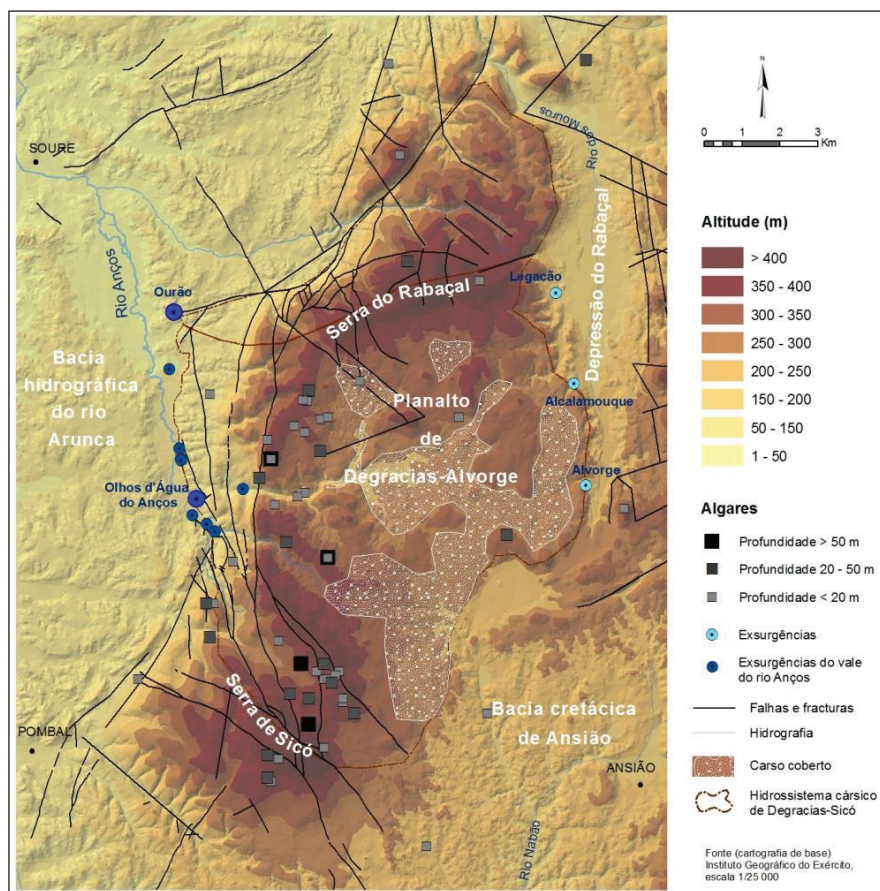


Figura 1 – Representação das principais características físicas da região onde se insere o hidrossistema cársico de Degracias-Sicó

As características estruturais e a tectónica determinam a circulação subterrânea que se processa maioritariamente para oeste (vale do rio Anços), onde se localizam as principais exsurgências, cujo alinhamento rígido parece confirmar a existência de fracturação submeridiana entre os calcários do Dogger e os materiais gresosos ocidentais mais recentes. Este conjunto de exsurgências, situadas entre os 40 e os 75 m na bordadura oeste será responsável pela drenagem de cerca de 75 a 80% da água que circula no hidrossistema, destacando-se as exsurgências permanentes do Ourão e dos Olhos d'Água do Anços como principais exutórios, com um caudal médio de 0,9 e 1,3 m³/s, respectivamente. O conjunto de exsurgências que bordejam todo o hidrossistema cársico de Degracias-Sicó completa-se com as pequenas exsurgências do bordo leste, de carácter temporário, situadas entre os 225 e os 310 m. A diminuta importância destas últimas na hidrodinâmica do conjunto do hidrossistema cársico fez com que fosse considerada e cartografada apenas a área de recarga do principal conjunto de exsurgências, no bordo oeste).

Em termos climáticos, no Maciço Cársico de Sicó, pela sua posição topograficamente mais elevada, ocorrem quantitativos de precipitação superiores aos da área circundante, com o valor médio anual a rondar os 1200 mm (estação de Degracias, 1979/80-2006/07), sendo nos meses de Novembro e Dezembro que ocorrem os maiores quantitativos.

3. METODOLOGIA: O MÉTODO APLIS

O cálculo e representação cartográfica da recarga segundo o método APLIS faz-se a partir da sobreposição e cruzamento, em SIG, de 'camadas de informação' relativas a cada uma das variáveis tidas como de crucial influência na recarga (*altitude, A; declive, P; litologia, L; áreas de infiltração preferencial, I, e tipo de solo, S*). Para cada uma das variáveis é criado um mapa, definindo-se classes a que se atribui pontuação entre 1 (influência mínima na recarga) e 10 (influência máxima). O peso atribuído a cada variável na fórmula de cálculo procura expressar a sua importância no processo de recarga (Andreo *et al.*, 2008). Assim:

$$R = (A + P + 3*L + 2*I + S) / 0,9 \quad [1]$$

A divisão por 0,9 permite obter uma taxa que representa o valor percentual da recarga relativamente à precipitação. Segundo Andreo *et al.* (2008), esta fórmula resulta de múltiplos ensaios com expressões matemáticas (sempre com estas variáveis), de forma a obter taxas de recarga o mais próximo possível das previamente calculadas por outros métodos.

A aplicação do método APLIS ao hidrossistema cársico de Degracias-Sicó requereu algumas adaptações, em função das características da área e da informação existente/disponível. O facto de o hidrossistema em estudo apresentar, em relação às áreas do método original, muito menor diversidade em algumas das variáveis utilizadas (em particular na altitude, no declive e na litologia) fez com que considerássemos apenas cinco categorias/classes em detrimento das dez apresentadas no formato original. Outra adaptação introduzida refere-se ao *Tipo de Solo* que, devido à inexistência de informação cartográfica, foi substituído pela carta de uso e ocupação do solo - COS2007. Como o cálculo da recarga é de carácter quantitativo, transformámos as variáveis qualitativas (litologia, áreas de infiltração preferencial e tipo de solo) em variáveis quantitativas mediante o estabelecimento de cinco classes a que atribuímos valores ordinais (*ratings* de 1 a 5), procedimento aplicado igualmente às variáveis quantitativas (altitude e declive) - Quadro 1.

O exercício desenvolvido para o hidrossistema cársico de Degracias-Sicó constitui uma primeira abordagem ao método APLIS, apresentando, por isso, um carácter fortemente empírico, tendo sido os pesos atribuídos às diferentes variáveis baseados, principalmente, no

profundo conhecimento da área em estudo. A adaptação do método APLIS à área em estudo resultou, após várias simulações, na seguinte fórmula:

$$R = (A + P + 3*L + 3*I + 2*S) / 0,75 \quad [2]$$

O peso de cada variável na expressão anterior justifica-se pela importância que cada uma delas exerce na recarga do hidrossistema cársico em estudo. A principal alteração introduzida na fórmula original foi a maior importância atribuída às Áreas de infiltração preferencial e ao Solo, uma vez que, na área em estudo, se afirmam como as características verdadeiramente diferenciadoras na distribuição espacial dos valores da recarga e na forma como esta ocorre (realidade dedutível a partir da Figura 1).

Quadro 1 – *Rating* (1 a 5) das categorias/classes das variáveis utilizadas no cálculo da recarga e respectiva distribuição espacial no hidrossistema cársico de Degracias-Sicó (Altitude; Declive; Litologia; Áreas de infiltração preferencial; Usos do solo)

Altitude (m)			Uso do solo (COS2007)		
Classes	% da área de recarga	Pontuação	Classes	% da área de recarga	Pontuação
> 400	33,3	5	Áreas de extracção de inertes; zonas de rocha descoberta e com pouca vegetação (solo muito esquelético e muito pedregoso. Alternância com áreas de rocha exposta)	5,2	5
300 - 400	53,5	4	Áreas com vegetação herbácea; vegetação esclerófila e olival (solo esquelético e pedregoso)	50,0	4
200 - 300	8,5	3	Áreas agrícolas heterogêneas (culturas temporárias e pastagens; agricultura com espaços naturais e semi-naturais. Solos finos a mediamente desenvolvidos, correspondentes a depósitos em áreas baixas no interior da superfície cársica de recarga)	11,1	3
100 - 200	4,7	2	Áreas florestais (florestas de resinosas e de folhosas, florestas mistas e novas plantações. Solos espessos)	30,3	2
< 100	0,0	1	Áreas com edificações antrópicas (impermeabilização)	3,4	1

Declive (%)			Litologia		
Classes	% da área de recarga	Pontuação	Classes	% da área de recarga	Pontuação
0 - 8	26,4	5	Calcários puros (Batoniano e Bajociano)	95,7	5
8 - 16	31,3	4	Calcários margosos (Aaleniano)	2,8	4
16 - 32	21,2	3	Arenitos (Cretácico inferior)	1,5	2
32 - 40	15,6	2			
> 40%	5,5	1			

Áreas de infiltração preferencial					
Falhas / Fracturas			Formas cársicas*		
Classes	% da área de recarga	Pontuação	Classes	% da área de recarga	Pontuação
Locais de intersecção dos principais alinhamentos de falha	9,6	5	Algares de elevada importância (aberturas consideráveis e/ou profundidade >40 m)	0,6	5
Principais falhas; locais de intersecção de fracturas	9,3	4	Algares de importância mediana (profundidade 16 - 40 m)	1,9	4
Falhas de menor importância; fracturas de maior extensão	23,9	3	Algares de pequena importância (pequenas aberturas e/ou profundidade <16 m)	4,4	3
Fracturas de pequena extensão	40,2	2			
Restante área	17,1	1	Restante área	93,1	1

* Designação genérica que representa aqui formas endocársicas (algares) com acção exocársica no processo de recarga (infiltração através das respectivas aberturas na superfície).

O ajustamento do denominador para 0,75 deve-se aos valores máximos de pontuação atribuídos às várias classes em cada variável (10 no original e 5 na área em estudo, pela menor variabilidade) e, naturalmente, ao facto de, segundo a fórmula original, as taxas de recarga média e máxima resultarem muito baixas (43,5% e 72,2%, respectivamente), manifestamente desajustadas da realidade da área em estudo, já constatada por outros métodos de cálculo (balanço hidrológico e método de Kessler) – Paiva (2014). A definição de 0,75 como denominador mais adequado teve por base a maior aproximação possível aos resultados obtidos anteriormente pelos referidos métodos. Esta foi, aliás, a razão aludida pelos autores do método, após vários ensaios, para a definição da fórmula original.

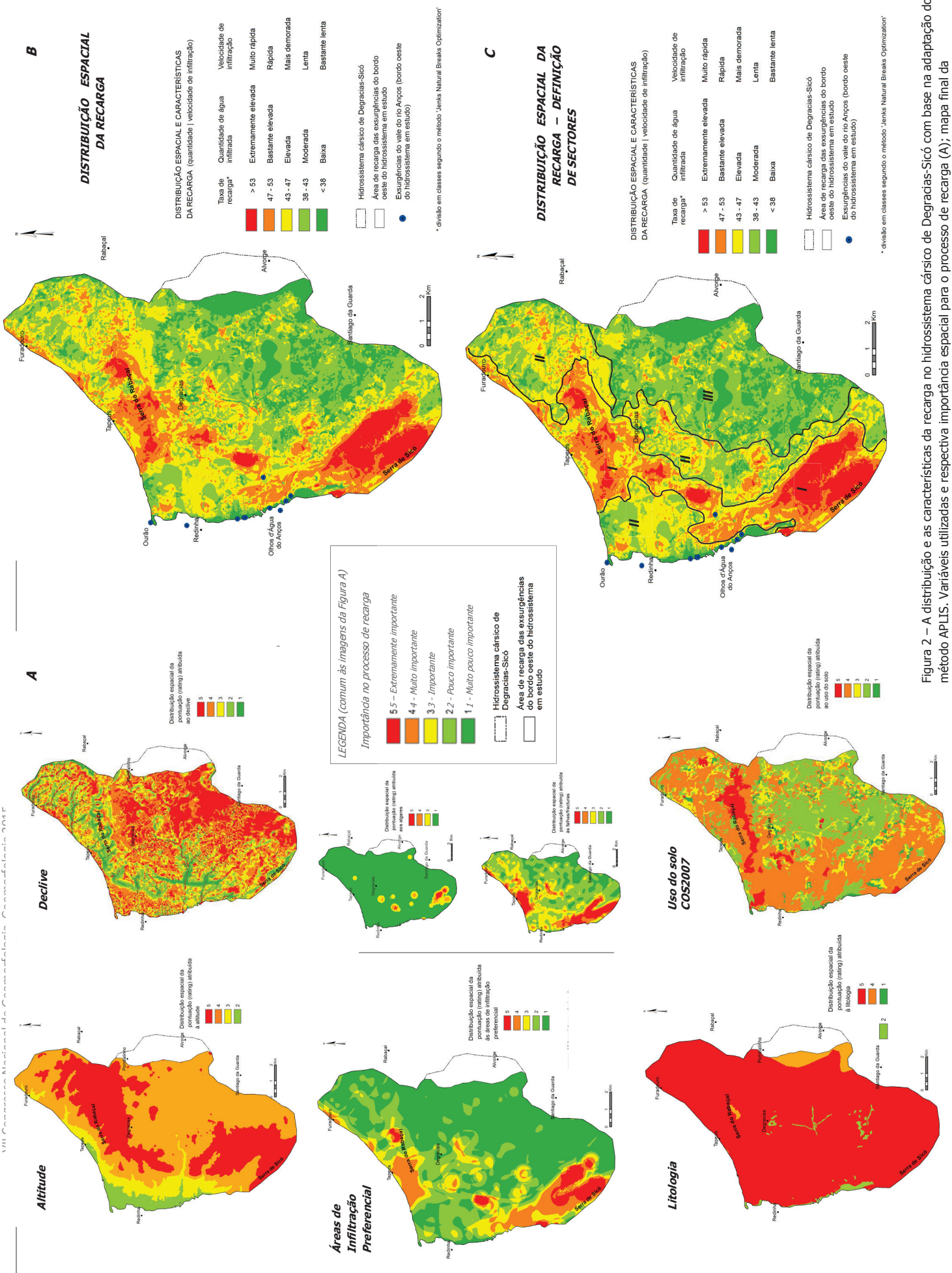
4. RESULTADOS

O método APLIS, adaptado ao hidrossistema cársico de Degracias-Sicó, determinou um valor médio de recarga de 52,2% (641,4 mm) da precipitação anual média para o período 1979/80-2006/2007. Este valor aproxima-se dos obtidos noutros dois métodos previamente aplicados - 52,5% (647,1 mm) pelo método de Kessler e 56,8% (697,7 mm) através do balanço hidrológico. Para além disso, encontra-se perfeitamente enquadrado nos intervalos estimados para hidrossistemas cársicos com características próximas das da área em estudo, na média montanha no Mediterrâneo (Paiva, 2014).

Em termos espaciais, o método APLIS revelou uma acentuada diferenciação espacial da recarga do hidrossistema em estudo (Figura 2), num nítido contraste entre um sector de predomínio absoluto de classes de recarga *Elevada* a *Extremamente elevada*, com infiltração normalmente rápida, e um outro sector onde a infiltração é *Moderada* a *Baixa* e o processo de infiltração bastante mais lento. Os maiores quantitativos de recarga (Sector I) ocorrem nas Serras de Sicó e do Rabaçal e numa estreita faixa que abrange a parte oeste da superfície de recarga, decalcando os principais alinhamentos tectónicos da região, as áreas de carso descoberto e com grande número de formas cársicas, em particular os algares que favorecem o carácter pontualmente concentrado da infiltração. Em contrapartida, na parte centro-leste do Planalto de Degracias-Alvorge verificam-se os menores valores de recarga (Sector III), em função da presença de espessos depósitos gresosos (áreas agricultadas e com vegetação arbórea), que incutem à recarga um carácter bastante mais lento. De notar ainda a existência de um sector intermédio (Sector II), composto por uma faixa de terrenos que ocupa, longitudinalmente, parte da área central do Planalto de Degracias-Alvorge e praticamente toda a área a nordeste da Serra de Degracias e onde coexistem pequenas áreas com taxas de recarga bastante diferenciadas, numa amálgama que espelha a heterogeneidade das características física desta área.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor da recarga e a sua distribuição espacial no hidrossistema cársico de Degracias-Sicó, elaborados a partir do método APLIS, não obstante tratar-se de uma primeira abordagem, parecem bastante consistentes com as características físicas da área. E parecem também constituir parte da justificação para os comportamentos hidrológicos das exurgências do vale do rio Anços, em particular do exutório principal (Olhos d'Água do Anços). O método APLIS revelou ser, simultaneamente, uma ferramenta simples (por requerer informação de fácil recolha, e normalmente disponível bem como por ser de fácil implementação) e muito válida, quer pelo carácter dos resultados obtidos (quantitativos e repartição espacial), quer pelo facto de se revelar adaptável às características físicas de cada hidrossistema cársico.



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RECARGA

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E CARACTERÍSTICAS DA RECARGA (quantidade | velocidade de infiltração)

Taxa de recarga*	Quantidade de água infiltrada	Velocidade de infiltração
Red	> 53	Extremamente elevada
Orange	47 - 53	Bastante elevada
Yellow	43 - 47	Elevada
Light Green	38 - 43	Moderada
Dark Green	< 38	Baixa

Hidrossistema cárstico de Degracias-Sicó
 Área de recarga das exsurgências do bordo oeste do hidrossistema em estudo
 Exsurgências do vale do rio Anços (bordo oeste do hidrossistema em estudo)

* divisão em classes segundo o método 'Jenks Natural Breaks Optimization'

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RECARGA – DEFINIÇÃO DE SECTORES

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E CARACTERÍSTICAS DA RECARGA (quantidade | velocidade de infiltração)

Taxa de recarga*	Quantidade de água infiltrada	Velocidade de infiltração
Red	> 53	Extremamente elevada
Orange	47 - 53	Bastante elevada
Yellow	43 - 47	Elevada
Light Green	38 - 43	Moderada
Dark Green	< 38	Baixa

Hidrossistema cárstico de Degracias-Sicó
 Área de recarga das exsurgências do bordo oeste do hidrossistema em estudo
 Exsurgências do vale do rio Anços (bordo oeste do hidrossistema em estudo)

* divisão em classes segundo o método 'Jenks Natural Breaks Optimization'

Figura 2 – A distribuição e as características da recarga no hidrossistema cárstico de Degracias-Sicó com base na adaptação do método APLIS. Variáveis utilizadas e respectiva importância espacial para o processo de recarga (A); mapa final da distribuição da recarga (B) e definição de sectores com relativa homogeneidade nas características da recarga (C)

No entanto, voltamos a sublinhar o carácter empírico deste método bem como o estágio inicial da sua aplicação neste hidrossistema cársico, pelo que estamos conscientes do aperfeiçoamento que este exercício cartográfico requer, bem como da necessidade de comparação com outros métodos, em particular de distribuição espacial da recarga.

REFERÊNCIAS

- Allocca, V; Manna, F e De Vita, P (2014) – Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy), *Hydrology and Earth Systems Sci.*, 18: 803-817
- Andreo, B; Vías, J; Durán, J; Jiménez, P; López-Geta, J e Carrasco, F (2008) – Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in Southern Spain, *Hydrogeology Journal*, 16: 911-925.
- Andreu, J M; Alcalá, F J; Vallejos, A e Pulido-Bosch, A (2011) – Recharge to mountainous carbonated aquifers in SE Spain: different approaches and new challenges, *Journal of Arid Environments*, 1-9.
- Aquilina, L; Ladouche, B e Dorfliger, N (2006) – Water storage and transfer in the epikarst of karst systems during high flow periods, *Journal of Hydrology*, 327: 472-485.
- Carter, J e Driscoll, D (2006) – Estimating recharge using relations between precipitation and yield in a mountainous area with large variability in precipitation, *Journal of Hydrology*, 316: 71-83
- Cunha, L (1988) – *As serras calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, Coimbra, 329 p
- Gunn, J (1983) – Point recharge of limestone aquifers: a model from New Zealand karst, *Journal of Hydrology*, 61: 19-29.
- Hartman, A; Lange, J; Weiler, M; Arbel, Y. e Greenbaum, N (2012) – A new approach to model the spatial and temporal variability of recharge to karst aquifers. *Hydrological Earth System Science*, 16: 2219-2231
- Jeannin, P-Y e Grasso, D A (1995) – Estimation des infiltrations efficaces journalières sur le bassin karstique de la Milandrine (Ajoie, JU, Suisse), *Bulletin d'Hydrogéologie*, n.º 14, Centre d'Hydrogéologie, Univ. de Neuchâtel, 83-93.
- Leaney, F W e Herczeg, A L (1995) - Regional recharge to a karst aquifer estimated from chemical and isotopic composition of diffuse and localized recharge, *Journal of Hydrology*, 164: 363-387
- Kessler, H (1967) – Water Balance Investigations in the Karstic Regions of Hungary, *Hydrology of fractured rocks*, Symposium of Dubrovnik, Publicação n.º 73, Red Book, IAHS/UNESCO, 91-105.
- Ozyurt, N e Bayari, C (2008) – Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey: implications with respect to response of karst aquifers to recharge, *Hydrogeology Journal*, 16: 297-309.
- Paiva, I M R (2014) – *O hidrossistema cársico de Degraças-Sicó. Estudo do funcionamento hidrodinâmico a partir das suas respostas naturais*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Coimbra, 445 p.
- Pardo-Igúzquiza, E; Durán-Valsero, J J; Dowd, P A; Guardiola-Albert, C; Liñan-Baena, C e Robledo-Ardila, P A (2012) – Estimation of spatio-temporal recharge of aquifers in mountainous karst terrains: Application to Sierra de las Nieves (Spain). *Journal of Hydrology*, 470-471: 124-137.
- Perrin, J; Jeannin, P-Y e Zwahlen, F (2003) – Implications of the spatial variability of infiltration-water chemistry for the investigation of a karst aquifer: a field study at Milandre test site, Swiss Jura. *Hydrogeology Journal*, 11: 673-686.
- Petric, M. (2002) – *Characteristics of recharge – discharge relations in karst aquifer*, Karst Research Institute, Postojna, Slovenia.
- Scanlon, B R; Healy, RW e Cook, PG (2002) - Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10: 18-39
- Wood, W W e Sanford, W E (1995) – Chemical and isotopic methods for quantifying groundwater recharge in a regional, semiarid environment. *Groundwater*, 33: 458-468
- Zagana, E; Kuells, Ch; Udluft, P e Constatinou, C (2007) – Methods of groundwater recharge estimation in eastern Mediterranean: a water balance model application in Greece, Cyprus and Jordan. *Hydrological Processes*, 21(18): 2405-2414

Este estudo foi financiado pelo Fundo Europeu para o Desenvolvimento Económico e Regional (FEDER) através do Programa Operacional Fatores de Competitividade (COMPETE) e de Fundos Nacionais através da Fundação Portuguesa para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/CTE-GIX/117608/2010, FCOMP-01-0124-FEDER-022634)”.