

## MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DA ILHA GRACIOSA (AÇORES, PORTUGAL)

Paulo BORGES<sup>1</sup>, Francisco RODRIGUES<sup>2,3</sup>, José AZEVEDO<sup>1,4</sup>

1. Universidade de Coimbra, Rua Silvío Lima, Coimbra, paulo.filipe.borges@hotmail.com, jazevedo@uct.uc.pt

2. Universidade dos Açores, Rua Capitão João d'Ávila – Pico da Urze, Angra do Heroísmo, francisco.c.rodrigues@uac.pt

3. Instituto de Investigação de Ciências Agrárias e do Ambiente - IITAA

4. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra-CITEUC

### RESUMO

A ilha Graciosa (Arquipélago dos Açores) é constituída por três Complexos vulcânicos associados a variados centros eruptivos enquadrados num regime tectónico fortemente influenciado pelo rifte da Terceira. A hidrologia insular está claramente dependente da precipitação atmosférica, cuja média anual ronda os 920 mm, apresentando importantes variações sazonais e altitudinais. O modelo hidrogeológico conceptual apresentado baseia-se na organização espacial e tipologia das formações e estruturas vulcânicas insulares, na distribuição e nas características físico-químicas dos pontos de água estudados (nascentes, poços e furos) e nos elementos bibliográficos disponíveis e expressa: (1) as massas de água subterrânea estão implantadas em aquíferos suspensos, mas sobretudo nas unidades aquíferas basais; (2) a recarga aquífera está largamente associada à infiltração e ocorre fundamentalmente nas zonas de maior altitude e do interior insular; (3) a descarga faz-se de por processos naturais (maioritariamente por nascentes) e de forma induzida por poços e furos; (4) a hidrodinâmica subterrânea é claramente marcada pela vulcanostratigrafia insular, mas também pelo equilíbrio água doce-água salgada nos domínios costeiros e, localmente, pela ascensão de águas juvenis.

**Palavras-Chave:** Ilha Graciosa; Hidrogeologia; Modelo hidrogeológico conceptual.

### 1. INTRODUÇÃO

As regiões insulares de natureza vulcânica e de pequena dimensão apresentam de um modo geral duas tipologias de massas de águas subterrâneas: as basais, correspondentes a uma lenticula de água doce que sobrenada água salgada proveniente da intrusão do mar, e as suspensas, localizadas em domínios elevados do edifício insular e associadas a níveis (p. ex: tufos vulcânicos, escoadas espessas e paleossolos) ou barreiras (p. ex: falhas e filões) pouco permeáveis. Devido à reduzida dimensão, quer os aquíferos basais, quer os suspensos, são particularmente susceptíveis às variações climáticas, designadamente à distribuição anual das precipitações. No caso da ilha Graciosa, o abastecimento público de água faz-se sobretudo a partir das unidades aquíferas basais.

Tendo por base os trabalhos desenvolvidos por Borges (2019), apresenta-se nesta comunicação um modelo hidrogeológico conceptual para a ilha. Este modelo hidrogeológico baseia-se fundamentalmente nas características vulcanostruturais, geomorfológicas, e hidrológicas da ilha e confirmado nos trabalhos de campo, no exaustivo inventário de pontos de água (23 nascentes, 6 poços e 17 furos) e ainda na recolha de outros elementos bibliográficos (p. ex: Cruz & Andrade, 2017). Um modelo conceptual constitui uma ferramenta fundamental para a interpretação e o conhecimento da ocorrência, circulação e armazenamento das massas de água subterrânea no edifício insular, sendo assim, essencial para uma monitorização eficaz e uma exploração sustentável dos recursos hídricos insulares.

### 2. ENQUADRAMENTO GERAL

A Graciosa é a ilha mais setentrional do Grupo Central do Arquipélago dos Açores (Portugal). Possui uma área plana de 60,66 km<sup>2</sup> e apresenta uma configuração aproximadamente elíptica, com orientação NW (Fig.1).

Do ponto de vista geomorfológico esta ilha divide-se em 4 unidades principais: o Maciço da Caldeira, situado na parte SE da ilha; o Maciço Centro-Meridional, constituído pelas Serras Branca e Dormida; a Serra das Fontes, situado na região central da ilha; e a Plataforma Noroeste, constituída por vários cones vulcânicos dispersos (Gaspar, 1996).

A morfologia da ilha é essencialmente marcada por estruturas associadas a três Complexos vulcânicos (CV) distintos, que se formaram nos últimos 100 000 anos. Do mais antigo para o mais recente estes são (Gaspar, 1996): CV da Serra das Fontes; CV da Serra Branca; e CV de Vitória-Vulcão Central.

A ilha Graciosa localiza-se em pleno rifte da Terceira, no limite das placas Euroasiática e Africana (Núbia). Esse facto é responsável por um conjunto de deformações definidas por dois sistemas principais de falhas (Hipólito, Madeira, Carmo & Gaspar, 2013): o sistema A, claramente dominante, é o que evidencia maior expressão superficial, apresentando uma direção NW-SE inclinadas para NE e SW; o sistema B, de menor expressão, apresenta uma orientação NNE-SSW a NE-SW, com tendência a mergulhar para WNW a NW.

### 3. HIDROGEOLOGIA INSULAR

Dada a sua natureza vulcânica, a ilha Graciosa apresenta do ponto de vista hidrogeológico uma elevada heterogeneidade e anisotropia. De um modo geral, os depósitos vulcanoclásticos pouco alterados ou litificados e as escoadas basálticas (*s.l.*) mais fracturadas comportam-se como aquíferos; as formações constituídas por piroclásticos muito grosseiros com elevadas porosidades comportam-se como aquíferos; as formações rochosas mais compactas ou de natureza traquítica (*s.l.*), comportam-se como aquíferos; finalmente, os depósitos vulcanoclásticos muito alterados e litificados, os depósitos surtseanos alterados, assim como os níveis de paleossolos e os diques comportam-se como barreiras hidráulicas.

O autor Santamarta *et al.* (2014) apresenta as estruturas vulcânicas insulares mais relevantes do ponto de vista hidrogeológico: o complexo de base da ilha; diques; paleossolos; grandes deslizamentos de terra; e depósitos de cinzas. Estas têm um comportamento impermeável responsável pela retenção de massas de água. Por outro lado, as formações constituídas por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos, tendem a apresentar permeabilidades elevadas, permitindo, assim, o armazenando e a circulação de água subterrânea. De acordo com Rodrigues (2002) interfere naturalmente neste processo o grau de alteração e/ou compactação destas formações.

Do ponto de vista hidrogeológico a ilha Graciosa apresenta variadas unidades aquíferas – suspensas e basais –, cuja sustentabilidade (hidrodinâmica e hidroquímica) está fortemente dependente da precipitação atmosférica e infiltração anuais, assim como da correta exploração de água subterrânea.

### 4. MODELO HIDROGEOLÓGICO INSULAR

O modelo hidrogeológico conceptual proposto baseia-se em elementos na estrutura e organização dos vulcanitos insulares (Carta vulcano-estratigráfica da ilha Graciosa de Gaspar & Queiroz, 1995 e Carta tectónico-estrutural da ilha Graciosa de Hipólito *et al.*, 2013), em elementos hidroclimatológicos e hidrogeológicos (Cruz & Andrade, 2017) retirados da bibliografia e ainda nos trabalhos de campo. O modelo está sinteticamente representado nas figuras 1 e 2.

#### 4.1 Recarga aquífera

A recarga das unidades aquíferas (suspensas e basais) provém fundamentalmente da precipitação atmosférica, através da infiltração e infiltração profunda. Na generalidade das ilhas do Arquipélago dos Açores, assim como na Graciosa, a precipitação concentra-se nos domínios interiores e de maior altitude. A ilha Graciosa apresenta dimensões reduzidas e baixas altitudes, o que lhe confere baixos níveis de precipitação, havendo assim uma reduzida entrada hídrica anual no sistema hidrogeológico insular.

A Plataforma NW da ilha é a região que comporta uma maior capacidade de recarga, uma vez que é constituída por cones piroclásticos e depósitos vulcanoclásticos de natureza basáltica (*s.l.*), não apresentando uma rede de drenagem superficial estruturada. A região ocidental (vertente NE da Serra das Fontes) apresenta uma capacidade de recarga elevada a moderada, proporcionada pelas escoadas recentes da Unidade de Vitória. Na extremidade SE da ilha a recarga oscila entre o moderado a reduzido, uma vez que apresenta setores com uma capacidade de infiltração variável. As regiões consideradas de recarga muito reduzidas localizam-se principalmente nas vertentes externas do Maciço da Caldeira, sobretudo nas NE e SW, desde o bordo da caldeira até à linha de costa.

Para além da recarga associada à precipitação atmosférica, algumas massas de água subterrânea recebem contributos de: (1) águas juvenis; (2) água do mar (intrusões salinas) e (3) águas superficiais, nomeadamente a partir de zonas encharcadas. Localmente, ocorre recarga aquífera induzida (antrópica), principalmente na Plataforma NW da ilha, procedente da irrigação (nas áreas de usos de solo agrícolas) e de fossas sépticas.

#### 4.2 Hidrodinâmica subterrânea

De acordo com o expresso nos perfis geológicos e hidrogeológicos propostos (Fig. 1 e 2), considera-se que a circulação hídrica subterrânea na ilha Graciosa processa-se de forma rápida pelas fraturas e/ou falhas e de uma forma mais lenta nos níveis de tufos e de paleossolos.

Os materiais com maior porosidade e permeabilidade, como os materiais de queda piroclásticos, apresentam circulação vertical rápida que possibilita a infiltração profunda, enquanto nos materiais mais compactos e de

porosidade moderada, designadamente escoadas basálticas (*s.l.*), ocorre circulação sub-horizontal, com velocidade lenta a moderada, condicionada espacialmente pela textura vesicular.

Admite-se que o contacto entre os CV da Serra das Fontes e Serra Branca, e o CV do Vulcão Central constitui uma barreira hidráulica, promovendo a acumulação e circulação hídrica subterrâneas. (Fig. 2).

De acordo com Borges (2019), durante período de inatividade vulcânica que mediou a formação do CV da Serra Branca e o CV de Vitória verificaram-se importantes fenómenos erosivos, responsáveis pela formação depósitos sedimentares e espessas capas de alteração. Estas, quando cobertas por materiais incandescentes, provenientes de erupções mais recentes, sofrem alterações físico-químicas, originando de um modo geral níveis com permeabilidade reduzida (ex.: paleossolo identificado na plataforma NW, responsável pelo aquífero suspenso do Guadalupe (Fig. 1, E-F)).

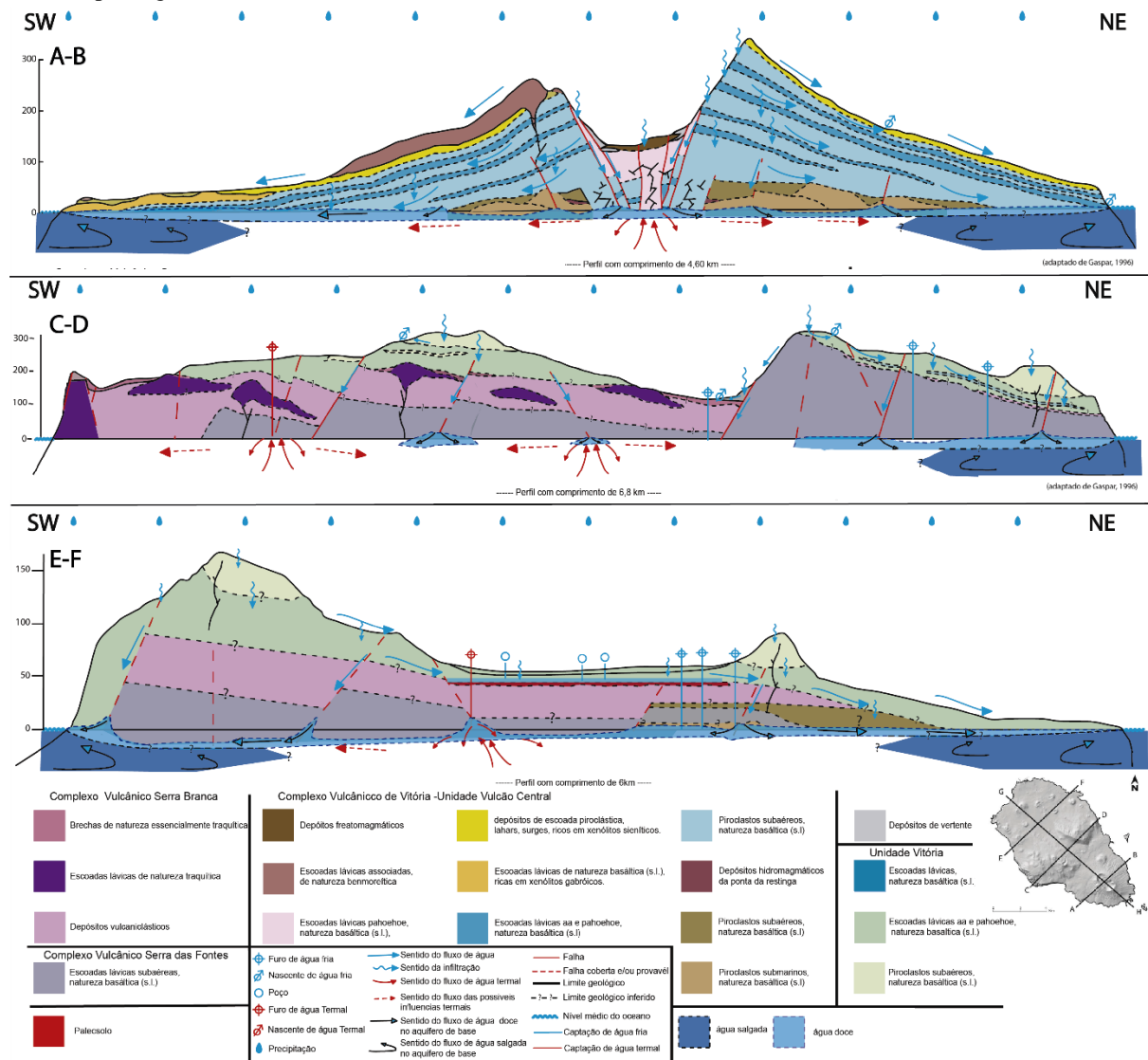


Figura 1: Perfis hidrogeológicos conceptuais (A-B; C-D; E-F) propostos para a ilha Graciosa.

A circulação de água em ilhas vulcânicas processa-se, grosso modo, de forma radial sub-horizontal a partir do interior da ilha ou de zonas de maior recarga para a linha de costa (ver Fig. 1 perfil A-B). Constitui exceção o fluxo hídrico que ocorre no sentido SE para NW, do Maciço da Caldeira para o interior da ilha, e o que conflui para a plataforma NW, promovendo maior recarga aquífera nestas regiões.

Ao longo dos alinhamentos tectónicos da ilha associados ao rifte da Terceira, ocorrem diversos pontos de água termal, com temperaturas que excedem os 25°C e muito mineralizadas. Este facto sugere a ocorrência de fenómenos de ascensão e circulação de águas juvenis (águas mantélicas produzidas principalmente nas dorsais oceânicas e pontos quentes) (Borges, 2019).

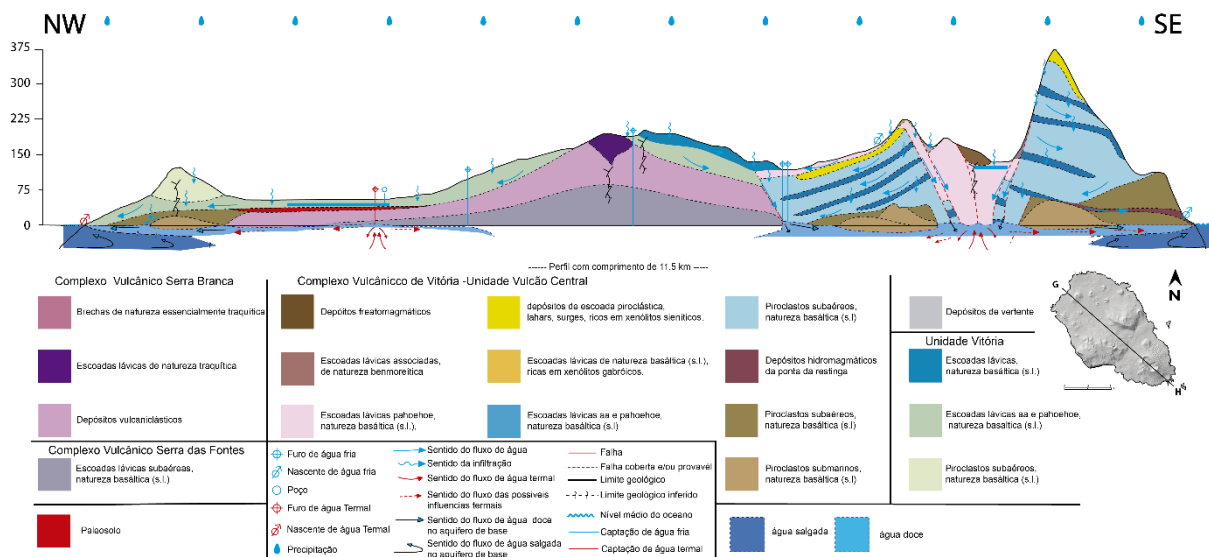


Figura 2: Perfil hidrogeológico conceptual (G-H) proposto para a ilha Graciosa.

### 4.3 Descarga aquífera

A descarga das massas de água subterrâneas efetua-se através de processos naturais e induzidos. No primeiro grupo incluem-se nascentes, localizadas a diferentes altitudes, se associadas a aquíferos suspensos, ou na orla costeira (subaéreas e submarinas) se associadas ao aquífero basal.

As nascentes associadas a aquíferos suspensos apresentam no geral, caudais diminutos, com grandes variações sazonais em função da precipitação. Este facto reflete as pequenas dimensões aquíferas e/ou baixas capacidades de armazenamento.

Não foi possível determinar caudais das nascentes basais, dada a sua localização na linha de costa na zona intertidal. Contudo, de acordo com informações obtidas junto de habitantes locais, existem numerosas descargas submarinas, sobretudo na zona SE da Caldeira.

No grupo de processos induzidos incluem-se as captações diretas de águas subterrâneas através de poços e furos. Os poços que intercetam os aquíferos suspensos localizam-se na Plataforma NW, captando o aquífero do Guadalupe, não sendo atualmente utilizados. Um dos poços interceta o aquífero basal, muito próximo da linha de costa, não sendo igualmente utilizado. Os furos exploram as unidades aquíferas basais; localizam-se em vários locais da ilha, apresentando capacidades de extração de água normalmente elevadas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borges, P.F.S. (2019). Hidrogeologia de Ilhas Vulcânicas: caso estudo da ilha Graciosa (Açores). Dissertação de Mestrado em Geociências: Ramo de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Coimbra.
- Cruz, J. V., Andrade, C. (2017). Groundwater salinization in Graciosa and Pico islands (Azores archipelago, Portugal): processes and impacts. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 12 (2017) 69-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.04.003>.
- Gaspar, J. L. (1996). Ilha Graciosa (Açores): História Vulcanológica e Avaliação do Hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento Geociências, Universidade dos Açores, 361p.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G. (1995). Carta vulcanológica dos Açores, ilha Graciosa. Folhas A e B, na escala 1:10 000. Ed. Universidade dos Açores, Centro de Vulcanologia da U.A., Câmara Municipal da Graciosa.
- Hipólito, A., Madeira, J., Carmo, R., Gaspar, J. L. (2013). Neotectonics of Graciosa island (Azores): a contribution to seismic hazard assessment of a volcanic area in a complex geodynamic setting. *Annals Of Geophysics*, 56, 6, 2013, S0677; doi:10.4401/ag-6222
- Rodrigues, F., C. (2002): Hidrogeologia da ilha Terceira (Açores - Portugal). Tese de doutoramento - Departamento de Ciências Agrárias. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade dos Açores.
- Santamarta, J. C, Lario-Bascones, R., J., Rodríguez-Martín, J., Hernández-Gutiérrez, L. E., Poncela, R. (2014). Introduction to Hydrology of Volcanic Islands. 2014 International Conference on Environment Systems Science and Engineering. Elsevier, IERI Procedia 9 (2014) 135 - 140. doi: 10.1016/j.ieri.2014.09.053.