



Preparado em cooperação com o Millennium Challenge Corporation

# Os Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos Mosteiros, Ilha do Fogo, em Cabo Verde, África Ocidental

## Resumo do início do estudo das águas subterrâneas

### Por que o estudo foi feito?

Em Cabo Verde, os recursos hídricos subterrâneos fornecem a água para a agricultura, para a indústria e para o consumo humano. Esses recursos são limitados e susceptíveis à contaminação. Recursos hídricos subterrâneos adicionais são necessários para um desenvolvimento contínuo da agricultura, especialmente durante os períodos de seca, mas um aumento no uso e (ou) nas alterações climáticas podem ter efeitos drásticos sobre a quantidade e qualidade da água potável disponível. Nos aquíferos situados nas ilhas vulcânicas, como os de Cabo Verde, veios de água subterrânea potável “flutuam” tipicamente em cima de uma camada de água salobra, na fronteira com a água salgada, e um aumento no bombeamento podem provocar a intrusão da água salgada ou de outras contaminações. Um estudo recente do U.S. Geological Survey (Heilweil e outros, 2006, 2009), avaliou as condições de base da água subterrânea nas bacias hidrográficas em três ilhas de Cabo Verde para fornecer uma base científica para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, com vista a minimizar a exaustão das águas subterrâneas e prevenir uma contaminação no futuro.

### Localização e abordagem

Cabo Verde é um arquipélago composto de nove ilhas habitadas, situado aproximadamente a 750 quilômetros da Costa Ocidental da África (fig. 1). Três bacias hidrográficas foram selecionadas para o estudo de base das águas subterrâneas: Bacia Hidrográfica dos Mosteiros, em Fogo (ver ficha), Bacia Hidrográfica da Ribeira da Fajã, em São Nicolau (Heilweil e outros, 2010a), e Bacia Hidrográfica da Ribeira do Paúl, em Santo Antão (Heilweil e outros, 2010b). Em Cabo Verde, as chuvas variam grandemente de ano para ano e de acordo com a altitude do lugar. As precipitações médias anuais variam grandemente de menos de 50 milímetros ao longo das áreas costeiras povoadas, até 1.000 milímetros nas montanhas. A maioria da população reside em áreas rurais e retira o seu sustento da



Figura 1. Localização das bacias de estudo na República de Cabo Verde, África Ocidental.

agricultura de sequeiro; a chuva irregular torna a agricultura extremamente difícil em todas as áreas, exceto nas mais úmidas.

Poucos riachos são perenes porque a maioria da água da chuva que cai escorre muito rapidamente para o oceano, evapora ou é usada pelas plantas, enquanto que o restante infiltra-se através da rocha permeável e serve para recarregar os aquíferos subjacentes. A água subterrânea se move pelo baixo gradiente, da elevação superior para a parte inferior de cada bacia hidrográfica, infiltrando para poços (furos), nascentes, riachos, galerias, e finalmente em direção aos oceanos pela infiltração submarina (fig. 2). Para avaliar os recursos das águas subterrâneas em cada uma dessas bacias, foram recolhidos dados em muitos destes pontos de descarga. Os níveis das águas subterrâneas resultantes, as medições do caudal e a análise química das amostras foram utilizados para avaliar as disponibilidades das águas subterrâneas, suas fontes de recarga, o tempo de viagem, a vulnerabilidade à contaminação, e a sustentabilidade do bombeamento.

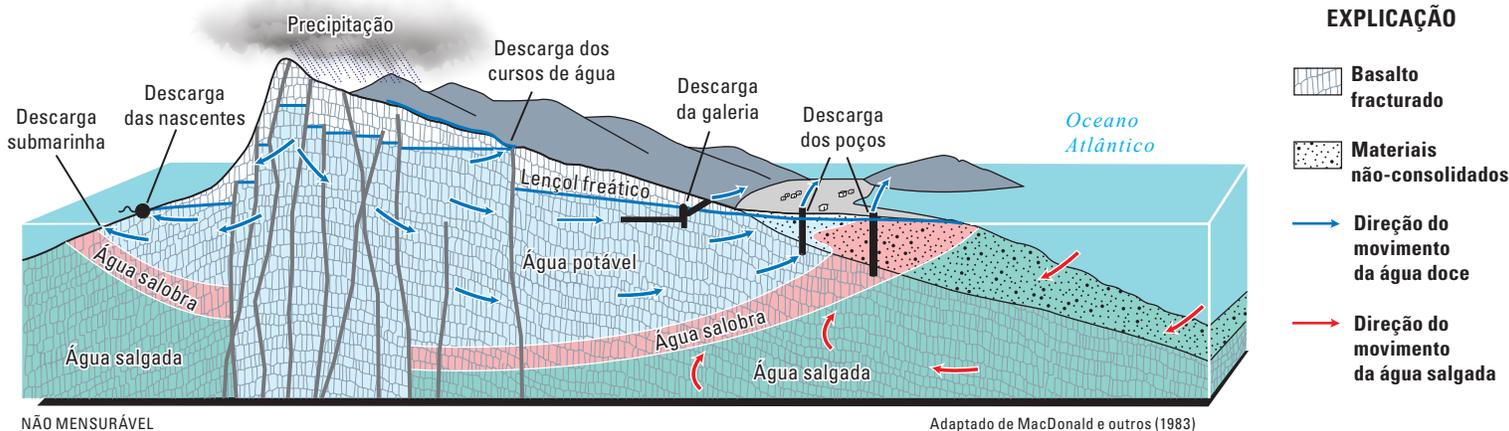


Figura 2. Modelo conceptual genérico da hidrologia nas ilhas vulcânicas.

## Bacia Hidrográfica dos Mosteiros, Ilha do Fogo

### Resultados - O que foi aprendido?

Situado ao longo do flanco do vulcão do Fogo (o ponto mais alto no Oceano Atlântico, a 2.900 metros de altitude), Mosteiros tem a altitude mais elevada e é a maior das três bacias em estudo. A altitude média da bacia hidrográfica dos Mosteiros é de 820 metros, e tem uma área total de 42 quilômetros quadrados. O aquífero situado debaixo da Bacia Hidrográfica dos Mosteiros recebe a recarga em forma de infiltração de uma parte dos 600 milímetros estimados como sendo a precipitação média anual. A bacia recebe também provavelmente a recarga de infiltrações subterrâneas do gradiente do alto da Chã das Caldeiras, uma caldeira vulcânica que não dispõe de saída para a água superficial. O total medido nos poços e em uma nascente durante o período de 2004-2005, foi calculado em cerca de 600 metros cúbicos por dia, representando apenas 1 por cento do total da precipitação estimada naquela bacia. Há, no entanto, evidências de que infiltrações submarinas adicionais ocorrem ao longo da costa da Bacia dos Mosteiros, mas os seus valores não puderam ser mensurados. Grande parte das medições da água subterrânea foi feita a partir da Nascente de Monte Vermelho (fig. 3), que despeja cerca de 500 metros cúbicos de água por dia. Níveis de água em vários poços indicaram que o início do veio de água doce (lençol freático), na planície costeira, está apenas a alguns metros acima do nível médio do mar. Provavelmente o lençol freático é muito mais profundo na parte superior da bacia, mas isso não pôde ser avaliado devido à falta de poços de observação na bacia (furos piezômetros).

A qualidade das águas subterrâneas rasas na Bacia dos Mosteiros é geralmente boa. Entretanto, as medições de salinidade nos poços indicaram a existência de apenas um veio fino de água doce sob a planície costeira, coberta por águas salobras subterrâneas. Portanto, o aquífero é vulnerável à intrusão de água salgada pela ação do bombeamento, que desta forma retira a água doce e permite a água salobra subjacente avançar em direção ao poço bombeado. Além disso, foram detectados alguns problemas de contaminação através da presença de nitrato nas águas subterrâneas, o que poderá indicar que o aquífero é susceptível à contaminação por fertilizantes agrícolas ou por detritos das fossas

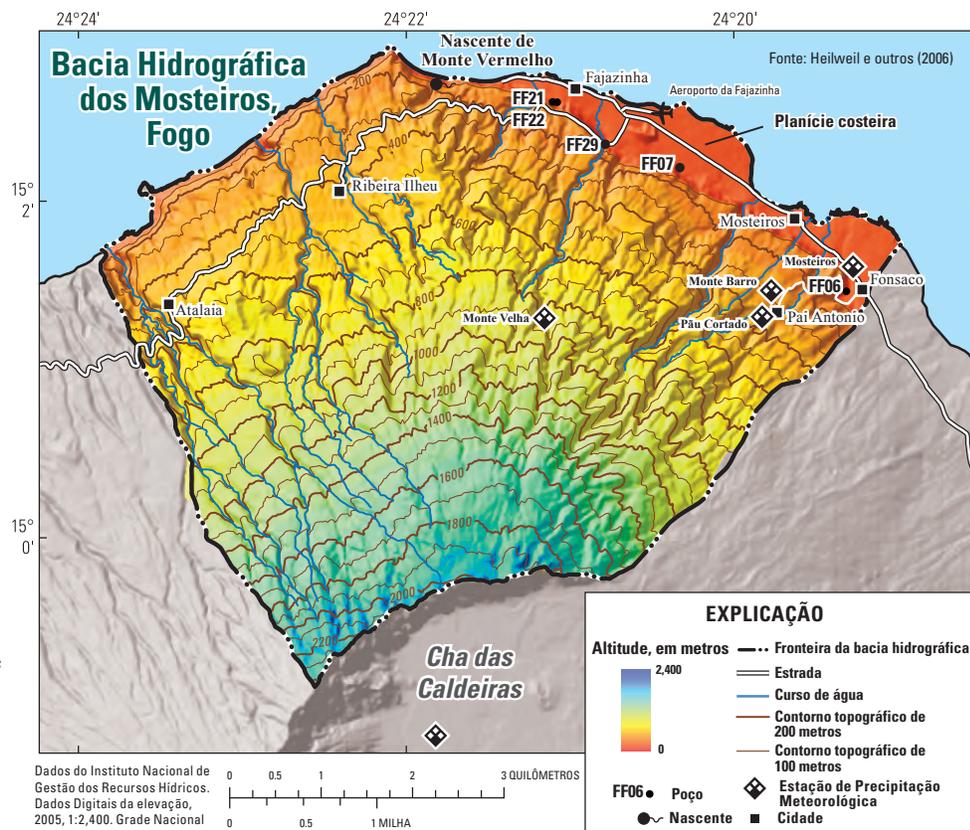


Figura 3. Mapa Hidrológico da Bacia Hidrográfica dos Mosteiros.

sépticas. Rastreadores ambientais foram usados para a datação das águas subterrâneas<sup>1</sup> e indicaram a presença de uma mistura de recarga recente (1980 ou mais recente), e antiga (pré-1950), o que é consistente com a relativamente baixa taxa de recarga natural das águas subterrâneas e com os recursos limitados em água subterrânea nesta ilha. Outros rastreadores indicaram que a grande parte da recarga das águas subterrâneas da Bacia dos Mosteiros penetra nos aquíferos nas altitudes mais altas<sup>2</sup> na parte superior da bacia, ou talvez, através da adjacência da Chã das Caldeiras.

<sup>1</sup> Os rastreadores ambientais usados para determinar a idade da água foram o trítio ( $^3\text{H}$ ), hélio tritogênico ( $^3\text{He}_{\text{int}}$ ), carbonoclorofluor (CCFs), hexafluoreto sulfúrico ( $\text{SF}_6$ ) e carbono 14. A datação das águas subterrâneas pelo método de trítio /hélio apresentou uma desvantagem devido às altas concentrações de hélio associadas com o vulcanismo ou a gases derivados a partir do manto. Da mesma forma, muitas das amostras recolhidas para as análises de  $\text{SF}_6$  apresentavam um excesso de  $\text{SF}_6$  derivado da rocha e não puderam ser datadas.

<sup>2</sup> Baseadas nas concentrações dos isótopos estáveis esgotados e na água subterrânea fria, as temperaturas da recarga derivam-se das concentrações dos gases dissolvidos de néon, argônio e criptônio e xénon.

## Desafios para o futuro desenvolvimento e gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Mosteiros

- Os recursos das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica dos Mosteiros são limitados em comparação com as outras bacias hidrográficas em Cabo Verde que têm maior precipitação e infiltração.
- Os poços de produção existentes na Planície dos Mosteiros estão situados próximos ao mar e, portanto, o aquífero é sensível ao excesso de bombeamento e à intrusão de água salgada. Apesar da qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica ser geralmente boa, altos níveis de salinidade (superior ao padrão da Organização Mundial de Saúde) foram registrados durante os períodos em que o bombeamento foi alto, obrigando os gestores locais dos recursos hídricos a uma redução no bombeamento.
- A captura de descarga adicional a partir da Nascente do Monte Vermelho pode apresentar um impacto menos negativo do que a perfuração dos poços de produção adicionais, mas isso também apresenta desafios devido à sua proximidade em relação ao oceano.
- A maioria da população dos Mosteiros vive numa estreita planície costeira, onde o aquífero subjacente é raso e susceptível à contaminação das águas subterrâneas a partir de fontes provindas da superfície, tais como da agricultura, da indústria e de resíduos de esgotos sépticos.
- Devido às preocupações com a quantidade e com a qualidade da água na Bacia Hidrográfica dos Mosteiros, uma gestão cuidadosa e práticas de manejo serão essenciais para proteger os recursos hídricos para as gerações futuras.

*Através da implementação de um processo rigoroso de monitoramento constante na Nascente do Monte Vermelho das descargas, da pluviosidade, das mudanças nos níveis freáticos, dos parâmetros químicos (salinidade e nitratos), e de um bombeamento adequado, será possível estabelecer medições científicas para garantir a futura sustentabilidade das águas subterrâneas e o desenvolvimento da agricultura na Bacia Hidrográfica dos Mosteiros.*

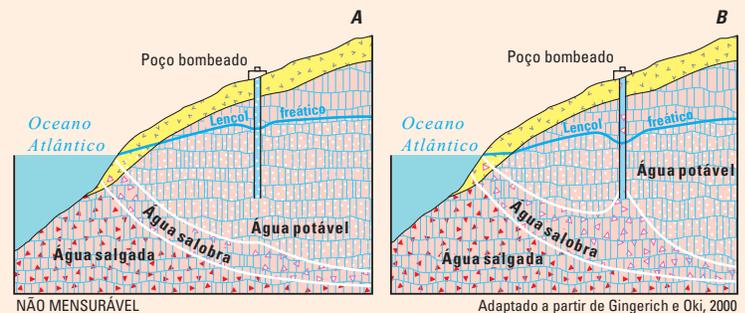
Victor M. Heilweil, Stephen B. Gingerich,  
L. Niel Plummer, and Ingrid M. Verstraeten

### Referências adicionais:

- Gingerich, S.B., and Oki, D.S., 2000, Groundwater in Hawaii: U.S. Geological Survey Fact Sheet 126-00, 6 p.
- Haagsma, B., 1995, Traditional water management and state intervention: The case of Santo Antão, Cape Verde: Mountain Research and Development, v. 15, no. 1, p. 39-56.
- Heilweil, V.M., Earle, J.D., Cederberg, J.R., Messer, M.M., Jorgensen, B.E., Verstraeten, I.M., Moura, M.A., Querido, A., Spencer, F., and Osorio, T., 2006, Evaluation of baseline ground-water conditions in the Mosteiros, Ribeira Paúl, and Ribeira Fajã Basins, Republic of Cape Verde, West Africa, 2005-06: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5207, 42 p.
- Heilweil, V.M., Gingerich, S.B., Plummer, L.N., Verstraeten, I.M., 2010a, Groundwater resources of Ribeira Fajã Basin, Island of São Nicolau, Cape Verde, West Africa: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-3071, 6 p.
- Heilweil, V.M., Gingerich, S.B., Plummer, L.N., Verstraeten, I.M., 2010b, Groundwater resources of Ribeira Paúl Basin, Island of Santo Antão, Cape Verde, West Africa: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-3070, 6 p.
- Heilweil, V.M., Solomon, D.K., Gingerich, S.B., and Verstraeten, I.M., 2009, Oxygen, hydrogen, and helium isotopes for investigating groundwater systems of the Cape Verde Islands, West Africa: Hydrogeology Journal, v. 17, no. 5, 1157-1174.
- Langworthy, M. and Finan, T.J., 1997, Waiting for rain: Agriculture and ecological imbalance in Cape Verde: Boulder, Colorado, Lynne Rienner Publishers, ISBN 1-55587-709-5, 212 p.
- MacDonald, G.A., Abbott, A.T., and Peterson, F.L., 1983, Volcanoes in the sea: The geology of Hawaii (2nd ed.): Honolulu, Hawaii, University of Hawaii Press, 517 p.

### O que é a intrusão da água salgada?

- Quando a água é retirada de um veio de água doce, o mesmo se contrai e a água salgada, ou a água salobra, irá avançar para cima e em direção do solo em várias partes do aquífero que anteriormente continha água doce. O grau de intrusão de água salgada depende de vários fatores: das propriedades hidráulicas das rochas, da taxa de recarga, da taxa de bombeamento, e também da própria localização do poço.
- A água salgada, uma vez introduzida em um aquífero, quando bombeada pode se tornar inadequada ao consumo ou à irrigação. Para o consumo, essa água bombeada, antes de ser usada, pode ser submetida a um tratamento que é muito caro. Caso contrário, as taxas de bombeamento deverão ser reduzidas e (ou) outras soluções dispendiosas de engenharia devem ser utilizadas até a recuperação do veio de água doce ao longo do tempo. É importante, portanto, proteger os aquíferos susceptíveis de intrusão, em vez de tentar remediar águas subterrâneas onde a intrusão já ocorreu.
- Problemas ligados à intrusão de água salgada podem ser minimizados pela localização adequada dos poços e pelo controle das taxas de bombeamento.



A intrusão da água salgada representa um problema potencial perto da costa. **A**, Diagrama de um poço perfurado em um aquífero na rocha vulcânica em que a extração (da água) é pequena. Apenas uma limitada intrusão da água salgada tem lugar. **B**, Diagrama do mesmo poço submetido a condições em que ocorre uma grande retirada da água subterrânea. O bombeamento provocou uma descida do lençol freático e causou um estreitamento do veio de água doce. A água salobra alcançou o poço.

### Agradecimentos

O USGS agradece ao Millennium Challenge Account - Cabo Verde, ao Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos, e às agências locais de gestão de água nos Mosteiros, Ribeira do Paúl e Ribeira da Fajã pela disponibilização de informações históricas e pela assistência na coleta de dados hidrológicos e na interpretação dos mesmos.

Para quaisquer informações adicionais, contactar:

U.S. Geological Survey,  
International Water Resources Branch  
12201 Sunrise Valley Drive  
Reston, Virginia 20192  
703-648-5230

Esta publicação está disponível online no site:

<http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3069>

