

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

## **ASPECTOS GEOAMBIENTAIS E EFEITOS DA SALINIZAÇÃO NOS AQUÍFEROS COSTEIROS NA ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE**

*António Pedro Said Aly de Pina<sup>1</sup>; Itabaraci Nazareno Cavalcante<sup>2</sup>; Maria da Conceição Rabelo  
Gomes<sup>3</sup>*

**RESUMO** – A República de Cabo Verde é um País insular, situado à 500 km da costa Ocidental Africana. Composto por 10 ilhas de origem vulcânica (mas apenas na do Fogo se tem manifestado atividade) pertencentes a zona climática Sahariana árida, com precipitação anual muito limitada e estação das chuvas que vai de Agosto a Outubro. A ilha de Santiago possui 991 km<sup>2</sup>, representando 25% da área total do arquipélago e pertence ao grupo de Sotavento e de ilhas altas ou montanhosas. Um dos fatores climáticos mais importantes na ilha de Santiago é a aridez. A sua localização na zona de influência Sahariana e a sua posição relativa aos ventos alísios não favorecem a precipitação. Além dos aspectos geoambientais avaliados, foi também analisado o risco de salinização dos aquíferos, e obtidos mapas que apresentam zonas com maior ou menor sensibilidade à contaminação, construídos para o aquífero livre. A principal finalidade destes mapas é de servir de instrumentos na definição de políticas públicas tanto no planejamento do uso e ocupação do solo como no gerenciamento das águas subterrâneas.

**Palavras-Chave** – Salinização, Aquíferos costeiros, Cabo Verde.

**ABSTRACT**- The Republic of Cabo Verde is an island country, located 500 km to the West African coast. Consulting of 10 islandes of volcanic origin (but only in the Fire activity has manifested itself) belonging to arid Saharan climate zone, where annual precipitation is very limited and the rainy season runs from August to Outubro. A Santiago Island have 991 km<sup>2</sup>, representing 25% of the total area of the archipelago and belongs to the Leeward islands and mountainous or high. One of the most important climatic factors on the island of Santiago is the dryness. Its location in the Saharan zone of influence and its position on the trade winds did not favor precipitation. With the geo-environmental aspects assessed were analyzed the risk of salinization of aquifers and obtained maps showing areas with greater or lesser sensitivity to contamination, which are generally built for unconfined aquifers. The main purpose of these maps is that it can serve as instruments in the definition of public policy both in planning the use and occupation of land as in the management of groundwater.

**Keywords** - Salinization, coastal aquifers, Cabo Verde.

---

1. Doutorando em Hidrogeologia/Centro de Ciências/Universidade Federal do Ceará (Bolsista FUNCAP). Meireles Fortaleza/CE. Email: salypina@hotmail.com

2. Prof. Dr. do Departamento de Geologia/UFC/CC/DEGEO. Av. Humberto Monte, S/N, Bloco 912/913, PICI. Fortaleza/CE. E-mail: ita@fortalnet.com.br

3. Doutoranda em Hidrogeologia/Centro de Ciências/Universidade Federal do Ceará (Bolsista CAPES/REUNI). Rua Alcides Gerarde 71, Conjunto Palmeiras, Fortaleza/CE. Email: conceicaoabelo@yahoo.com.br

## 1. ENQUADRAMENTO REGIONAL E GEOLÓGICO

O arquipélago de Cabo Verde está situado no oceano Atlântico, sobre a vertente da plataforma continental africana, aproximadamente entre as latitudes de 15-17°N e as longitudes de 23-25°W. Ocupa uma posição geológica de destaque entre as ilhas atlânticas, fato que resulta principalmente de aparecerem ali formações mesozóicas. Nos outros arquipélagos do Atlântico Norte as rochas mais antigas são miocênicas.

O arquipélago compõe-se de dez ilhas e treze ilhéus (com áreas menores do que 7 km<sup>2</sup>), que parecem formar um arco, aberto do lado ocidental. A área total é de 4.033 km<sup>2</sup>, com uma população de 434 625 habitantes (INE, 2000). A ilha maior, Santiago, tem 991 km<sup>2</sup>, e a menor, Santa Luzia, tem apenas 35 km<sup>2</sup>. As ilhas continentais distam cerca de 500 km da costa africana. O mar, entre as ilhas e o continente, tem profundidade superior a 3000 m.

A ilha de Santiago possui carta geológica na escala de 1:100.000. O arquipélago de Cabo Verde situa-se hoje à cerca de 2000 km a leste da cadeia meso-atlântica, tendo entretanto, durante o Eomesozóico ocupado a posição meso-oceânica (Gunn&Watkins, 1976). As ilhas, assim, podem ser consideradas deformadas em uma zona de interplacas ou *spreadingcenter*.

As ilhas são todas de origem vulcânica, mas apresentam características geológicas e geomorfológicas que as diferenciam. Normalmente são classificadas em função da sua posição relativa à direção dos ventos dominantes de Nordeste: - ilhas de Barlavento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista); e, ilhas de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava). E, em função do relevo, temos o grupo das ilhas planas ou rasas (Sal, Boavista e Maio) situadas a Este do arquipélago e com uma altitude que não ultrapassa os 450 m; e, o das ilhas altas (Santo Antão, Santiago, São Vicente, São Nicolau, Fogo e Brava) situadas mais a Ocidente, com grandes pendentes nos relevos e com uma intensa rede de drenagem. É neste grupo que estão as ilhas com maior potencial hídrico e agrícola.

### 1.1. Localização da área de estudo

A ilha de Santiago fica situada na parte Sul do arquipélago de Cabo Verde, entre os paralelos 15° 20' e 14° 50' de latitude Norte e os meridianos 23° 50' e 23° 20' de longitude Oeste. Tem forma alongada na direção NW-SE, com um comprimento máximo de 54,9 km entre a ponta Moreia, ao Norte, e a ponta Mulher Branca, ao Sul, e uma largura máxima de 29 km entre a ponta Janela, ao Oeste, e a ponta Praia Baixo, ao Leste. Com 991 km<sup>2</sup>, é a maior ilha correspondendo a cerca de 25% da área total do arquipélago. Pertence ao grupo das ilhas de Sotavento e ao das ilhas altas ou montanhosas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Santiago tem uma população de 236.627 habitantes (INE, 2000), aproximadamente 54,4% da população total do arquipélago, e é nesta ilha que se localiza a capital do país, a cidade da Praia. Administrativamente a ilha é constituída por nove (9) conselhos (Tarrafal, São Miguel, Santa Catarina, Santa Cruz, São Salvador, São Lourenço dos Órgãos, Ribeira Grande, São Domingos e Praia) e treze (13) freguesias.

A ilha de Santiago é fundamentalmente constituída por rochas vulcânicas. A pouca cobertura vegetal e a pequena espessura do solo constituem um ecossistema frágil cujas características físico-ambientais reduzem substancialmente o seu potencial produtivo. A pequena disponibilidade de água superficial aliada à pequena e irregular pluviosidade explica a grande dependência dos habitantes da região em relação à água subterrânea, mesmo sendo essa, na maior parte, uma alternativa fraca pela reduzida vocação hidrogeológica das rochas vulcânicas. Nessas rochas, dependente do tipo específico da mesma, a água subterrânea ocorre em sistemas de poros e/ou de fraturas interconectadas, descontínuos e com extensão limitada.

Tratando-se de uma ilha, os aquíferos mantêm um equilíbrio delicado com a água do mar, expresso pelo avanço e recuo da interface água doce-água salgada. A exploração racional dos aquíferos existentes implica no conhecimento da evolução desta interface, quer do ponto de vista espacial quer temporal. A importância deste conhecimento cresce quando se verifica que é ao longo da costa que se concentram as maiores densidades demográficas, aumentando significativamente a procura de água.

Santiago (Figura 1) é a ilha onde as potencialidades agrícolas são mais importantes. Nela se produzem sobretudo culturas de sequeiro (milho e feijão), que nos anos bons (quando chove) produz em quantidades suficientes para o consumo próprio e para satisfazer as necessidades das outras ilhas.



Figura 1 - Localização dos nove concelhos da ilha de Santiago (Cabo Verde).

Em termos climáticos, a ilha de Santiago está sob a influência de um clima semiárido, caracterizado por uma longa estação seca (8-10 meses) e uma curta estação das chuvas, concentrada essencialmente nos meses de Agosto e Setembro. A precipitação média anual é de 270 mm, mas apresenta uma variabilidade espacial muito acentuada, sobretudo em função da altitude. Como tal, é nas faixas litorais oeste e sul que se registam os mínimos pluviométricos, contrastando com a parte central da ilha, onde se atingem precipitações médias anuais superiores a 700 mm.

### 3.ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

A complexidade geológica e estrutural que caracteriza normalmente as ilhas vulcânicas faz com que os estudos hidrogeológicos em ambientes geológicos específicos sejam bastante complexos, tendo muitas vezes que se recorrer à integração conjunta de resultados de técnicas de investigação de geologia, hidrogeologia e geofísica para se obter um conhecimento mais detalhado do comportamento das formações aquíferas.

Os principais fatores que determinam as características hidrogeológicas das formações vulcânicas são, de acordo com Custódio (1986): o tipo de vulcanismo, a distância do centro

emissor, a tectônica, os efeitos da idade e a presença de materiais não vulcânicos interestratificados. Todos estes fatores incidem sobre o grau de anisotropia e heterogeneidade do meio e, conseqüentemente, na circulação das águas subterrâneas. Estas são propriedades características de ambientes vulcânicos, sendo que as variações se podem verificar à escala local (poucas dezenas ou centenas de metros) ou à escala da própria ilha, em sistemas aquíferas mais extensos e espessos.

A disponibilidade de recursos de água subterrânea é, ainda, influenciada diretamente pela quantidade de precipitação e infiltração profunda, que pode ou não atingir o meio saturado, e descarregar ao mar ou sob a forma de nascentes. Do ponto de vista hidrogeológico, as ilhas vulcânicas apresentam, em geral, problemas relacionados com a escassez de recursos de água de boa qualidade. Esta escassez está exposta muitas vezes com aspectos geográficos, como a localização das ilhas em zonas de clima árido ou semi-árido, com precipitações reduzidas; aspectos geológicos, devido ao fato de muitas das formações vulcânicas apresentarem permeabilidades bastante baixas e fraturação variável, e; com o próprio regime de exploração intensiva dos sistemas aquíferos para abastecimento urbano (especialmente para o setor do turismo), agrícola e industrial, e que tem contribuído muitas vezes para a sua gradual salinização.

A circulação da água depende, sobretudo, das suas características litológicas primárias, resultantes da origem da própria rocha e, em menor grau, das características litológicas secundárias resultantes de processos posteriores, de acordo com a evolução geológica. Com a evolução do tempo, as estruturas rochosas tendem a alterar-se, provocando por vezes modificações em formações anteriores aparecendo, assim, novas combinações litológico-estruturais associadas aos fenômenos de variação, compactação e consolidação de minerais constituintes das rochas. Em zonas próximas de centros emissores, podem encontrar-se produtos piroclásticos de pouca permeabilidade (principalmente depósitos de cinzas) que ficam interestratificados com escoamento de lavas mais permeáveis, podendo atuar como barreiras quase horizontais (Custódio & Llamas, 1983).

Este tipo de ambientes é geralmente caracterizado pela variação litológica, quer primária, quer secundária, originando meios hidrogeológicos heterogêneos e anisotrópicos. Em relação aos grandes maciços vulcânicos é de destacar o papel relevante que os diques desempenham, quer servindo como barreira natural, dado serem quase impermeáveis aos fluxos de água subterrânea, quer proporcionando o movimento do fluxo subterrâneo paralelo à sua inclinação. Estes comportamentos devem-se em grande parte ao grau de alterabilidade mas também ao ambiente de formação dos próprios diques. Em Santiago, a inclinação dos diques varia entre os 45-90° e, nas zonas de contactos, estão associados às nascentes. Para além dos diques, pode-se ainda realçar ocorrências de descontinuidades, lacólitos e, com muita frequência, a sobreposição de formações com idades e propriedades hidráulicas distintas.

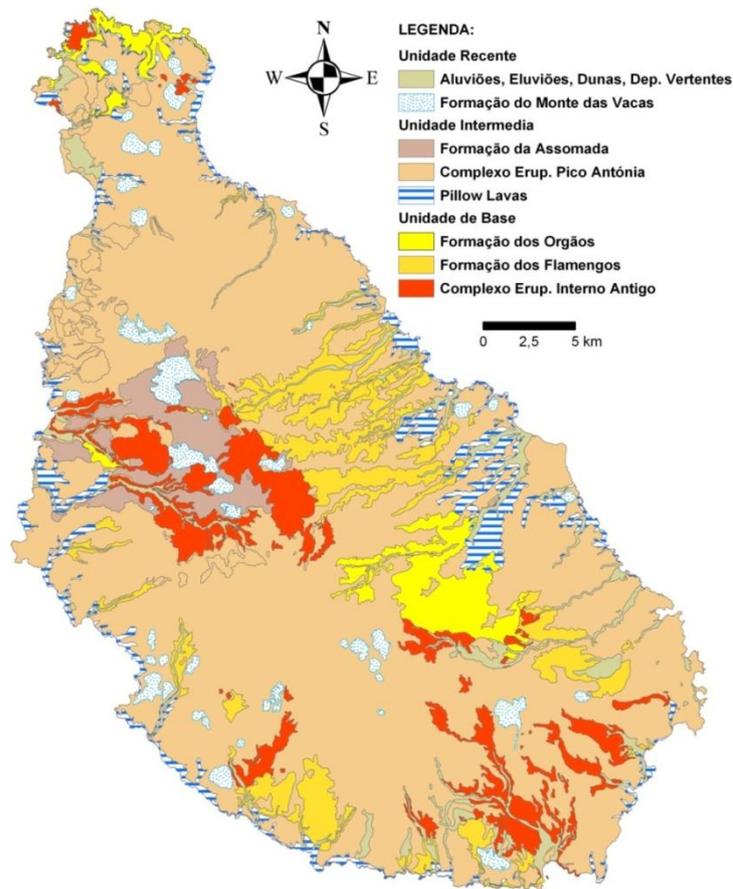
A permeabilidade das rochas vulcânicas pode variar significativamente devido à heterogeneidade do meio. Em geral, os distintos tipos de materiais vulcânicos e intrusivos sub-vulcânicos associados ao vulcanismo têm resultado em permeabilidades muito variáveis. Como regra geral, as rochas vulcânicas de composição basáltica apresentam maior permeabilidade que as rochas vulcânicas mais ácidas e, as lavas mais recentes são mais permeáveis que as mais antigas (Custódio & Llamas, 1983), muito embora as variações destas regras sejam muito numerosas. Por outro lado, a porosidade das rochas vulcânicas é muito variável consoante o tipo de rocha, podendo variar entre 10 a 50% em rochas piroclásticas, e até menos de 5% em lavas maciças e sem vesículas (Custódio, 1978).

A variação da porosidade depende sobretudo do processo de solidificação das mesmas. Quando a consolidação do magma for lenta, então haverá tempo para a liberação dos gases, formando assim rochas porosas. Por outro lado, se a velocidade de consolidação das lavas for rápida, não haverá tempo de liberação dos gases e, conseqüentemente, ao ficar impregnada de borbulhas de gás, a rocha terá uma textura vesicular. Com o evoluir do tempo, há a tendência de diminuições de porosidade nas rochas vulcânicas devido aos processos erosivos e que, posteriormente, vão preenchendo os espaços intersticiais das rochas. Por outro lado, nem todas as rochas vulcânicas com grande valor de porosidade total apresentam elevado grau de permeabilidade.

As rochas ígneas do conjunto das lavas das ilhas de Cabo Verde distribuem-se da seguinte forma: Ancaratrios, Basaltos peridóticos e nefelínicos e fonólitos (Sienitos nefelínicos e Monzonitos nefelíticos). A série é francamente atlântica, havendo porém, grande deficiência de sílica, constituindo a grande peculiaridade das ilhas de Cabo Verde.

### **3.1. Principais Unidades Hidrogeológicas**

Do ponto de vista hidrogeológico a ilha de Santiago é subdividida pelas unidades de Base, Intermédia e Recente, separação baseada nas características litológicas, perfurações e ensaios de bombeamento (Figura 2). Esses dados serviram para a concepção do modelo conceptual de funcionamento da ilha de Santiago (BURGEAP, 1974).



**Figura 2** -Principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (extraído de Pina, 2009).

Em síntese temos que:

*i. Unidade de Base* – é constituída principalmente pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), a Formação de Flamengos e a Formação dos Órgãos (CB). Esta unidade é caracterizada por um grau elevado de compacticidade, uma forte alteração dos afloramentos, indicando uma baixa permeabilidade comparativamente às formações mais recentes.

*ii. Unidade Intermédia* – representada pelas formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA) e da Assomada (A). A primeira, a Formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA) constitui a unidade geológica mais extensa e espessa da ilha e com uma permeabilidade bastante superior à da Unidade Base. Composta essencialmente por *pillow* lavas ( fácies submarina), representando do ponto de vista hidrogeológico o aquífero principal da Ilha de Santiago. Por outro lado, a Formação da Assomada (A) é constituída por mantos basálticos subaéreos e piroclásticos, por vezes com espessuras de dezenas de metros, na parte central da ilha onde se localiza o planalto da Assomada, ladeado pelo Pico da Antónia e Serra Malagueta.

*iii. Unidade Recente* – Formada pelas formações Monte das Vacas (MV) e aluviões (a). A primeira a Formação do Monte das Vacas (MV) é formada por cerca de 50 cones de piroclastos basálticos. Esta formação é muito permeável não permitindo a retenção das águas. De acordo com as respectivas granulometrias, espessuras e percentagem de argila, as aluviões por vezes possuem

porosidades e permeabilidades elevadas, permitindo furos (poços tubulares) com boa produtividade (Achada Baleia, Ribeira Seca, por exemplo), podendo atingir 40 m<sup>3</sup>/h.

### 3. PROPORÇÕES RELATIVAS DOS MINERAIS NOS SOLOS DA ILHA DE SANTIAGO

Os solos associados ao Complexo Eruptivo Antigo (CA) são bastante enriquecidos em feldspatos potássicos, quando comparados com os solos desenvolvidos nas restantes formações vulcânicas. As rochas do CA são as mais ricas em alcalis (Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O). Estes solos possuem também piroxênios, filossilicatos (esmectita e, em menor quantidade, caulinita e serpentina), quartzo, hematita, calcita e outros minerais (zeólitos, dolomita, larnite, siderita, magnetita, titanomagnetita, esfena, zircão, cromita, raras leucitas e apatita) e olivina.

O enriquecimento em feldspato, dolomita e calcita, características que os distingue dos outros solos em rochas vulcânicas, é consequência da presença de rochas granulares, sieníticas e gabróicas, de rochas traquíticas-fonolíticas, dos carbonatitos, e do fato das rochas desta formação se apresentarem muito alteradas e com veios de carbonatos e zeólitos.

Os solos que ocorrem sobre a Formação dos Flamengos (FL) são constituídos por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico, piroxênios, filossilicatos (esmectita, serpentina e rara caulinita), hematita, olivina e outros minerais representados por zeólitos, esfena, cromita, magnetita, granada, pouca dolomita). Estes solos não possuem calcita, contudo nestas rochas também ocorrem alguns veios de carbonatos e zeólitos. Dentre o conjunto de solos amostrados, estes são os mais ricos em filossilicatos e os mais pobres em hematita, o que está de acordo com o fato das rochas da Formação dos Flamengos serem das mais pobres em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (T) dentre as rochas basálticas.

Os solos que ocorrem sobre a Formação dos Órgãos (CB) são os mais ricos em piroxênios, e possuem também plagioclásios e feldspato potássico, filossilicatos (esmectita, serpentina e rara caulinita), quartzo, hematita e, em menores quantidades ocorre olivina e calcita, além de magnetita, cromita, larnita, siderita, granada, zeólitos, nefelina, dolomita, clorita, granada e brucita. A composição química das rochas desta formação é muito semelhante à das rochas de Flamengos, mas as proporções mineralógicas são distintas nos solos de ambas as formações. A ocorrência de larnita, granada e brucita, indica que as rochas vulcanoclásticas que constituem a Formação dos Órgãos sofreram metamorfismo de contato provocado pela implantação das lavas do Pico da Antónia, que as cobriram.

Os solos derivados da Formação do Pico da Antónia (PA) são constituídos essencialmente por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico, piroxênios, filossilicatos (esmectita +

interestratificados, mica/ilita, serpentina e pouca caulinita), hematita, calcita, olivina e outros minerais (larnita, siderita, dolomita, zeólitos, nefelina, magnetita, esfena, zircão).

Os solos que ocorrem associados à Formação da Assomada (A) são constituídos fundamentalmente por quartzo, filossilicatos, plagioclásio, feldspato potássico e hematita. Ocorre também, nestes solos, piroxênios e outros minerais onde se destaca a presença de (titano) magnetita, zeólitos, zircão, granada, nefelina, larnite e siderita, barita, esfena e olivina. Estes solos que possuem a maior proporção de filossilicatos e a menor de piroxênios, olivina e também, com exceção dos solos da Formação do Monte das Vacas (MV), a maior proporção de hematita. As rochas destas duas formações são as que possuem os teores médios de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (T) mais elevados. As rochas da Formação da Assomada apresentam-se com muita frequência muito alteradas e, por isso, os solos nesta formação possuem maiores proporções de filossilicatos e menores de piroxênios e olivina do que os solos desenvolvidos sobre as outras formações.

Os solos desenvolvidos sobre a Formação Monte das Vacas (MV) caracterizam-se pela presença de quartzo, hematita, e (titano) magnetita, plagioclásio e feldspato potássico, piroxênio, filossilicatos e olivina. O enriquecimento em hematita e (titano) magnetita pode dever-se ao fato desta formação corresponder aos depósitos piroclásticos formados à superfície e ao fato das suas rochas serem as que apresentam teores mais elevados em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (T). São os solos mais enriquecidos em olivina.

O mineral existente em maior proporção relativa nos solos da ilha de Santiago é o quartzo, com exceção dos solos no Complexo Antigo e da Formação dos Órgãos onde o principal mineral é o feldspato e o piroxênio, respetivamente. O quartzo resulta do transporte eólico e da alteração dos minerais silicatados das rochas, pois as rochas possuem olivina ou nefelina, e como tal não possuem quartzo.

O segundo mineral em termos de proporção relativa nos solos é o feldspato, com exceção dos solos que se desenvolvem sobre a Formação dos Órgãos (CB), onde é o piroxênio o mineral dominante, e dos solos que se desenvolvem sobre a Formação da Assomada onde são os filossilicatos os minerais dominantes. A existência de grande proporção de feldspato nas amostras deve-se ao fato de estarmos em presença de um clima árido a semi-árido e, ainda, ao seu relevo elevado, fatores que inibem a meteorização dos feldspatos. Estes mesmos fatores também permitem que o piroxênio e a olivina permaneçam nos solos. Os solos que contêm mais olivina são os que se desenvolvem sobre a Formação do Monte das Vacas, que é a mais recente e, portanto, onde a meteorização também é mais jovem.

As proporções mineralógicas relativas observadas nestes solos refletem essencialmente a mineralogia da rocha-mãe (feldspato, piroxênio e olivina). As proporções observadas também refletem o efeito das condições climáticas tais como a precipitação, temperatura e direção dos

ventos e que condicionam os processos de meteorização e transporte/deposição, promovendo um enriquecimento em quartzo, filossilicatos, hematita e calcita.

De todos os solos de Santiago, os desenvolvidos sobre as rochas da Formação da Assomada são os que possuem maior proporção de minerais de alteração e menores em piroxênio e olivina, já que as suas rochas se encontram geralmente muito alteradas.

#### **4. CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS DE ÁGUA NA ILHA DE SANTIAGO**

A necessidade de água para finalidades antrópicas fez surgir a busca pela água subterrânea há milhares de anos. Os poços tubulares são responsáveis por grande parcela do abastecimento de água. A poluição crescente das águas em Cabo Verde vem incrementando a demanda e a procura de novas alternativas especificamente a dessalinização da água do mar.

##### **4.1. Poços Tubulares**

Na ilha de Santiago estão inventariados pelo INGRH um total de 780 poços tubulares de captação de água subterrânea, o que dá uma média de praticamente um poço por cada 1,3 km<sup>2</sup>. Estes furos (poços) estão implementados nas três unidades hidrogeológicas que constituem a ilha Santiago, desde o nível do mar até aos 700 metros de altitude.

A localização dos poços tubulares na ilha foi condicionada por fatores como: (1) as condições hidrogeológicas; (2) a distância ao mar; e, (3) a altitude do local. O primeiro fator diz respeito às condições favoráveis à ocorrência de aquíferos; o segundo tem em conta o risco de intrusão salina; e o terceiro é de natureza meramente econômica, uma vez que os furos (poços) construídos a maiores altitudes têm que ter maiores profundidades e, conseqüentemente, têm custos de execução (construção e instalação dos equipamentos de bombagem) e exploração (consumo de energia) muito elevados.

A maioria dos poços tubulares foi construída à percussão e/ou roto-percussão, com diâmetros que variam entre 200 a 600 mm e profundidades que vão desde os 30 a 270 metros e revestida por tubos de ferro (os mais antigos) e PVC (os mais recentes).

##### **5.2 Nascentes**

Na ilha de Santiago estão inventariadas pelo INGRH um total de 1 199 nascentes, o que dá uma média superior a uma nascente por cada km<sup>2</sup>.

A distribuição espacial das nascentes na ilha de Santiago não é uniforme, estando fortemente condicionada pela geologia, rede de fraturamento e pela presença de filões. A grande maioria das nascentes está localizada no planalto central da ilha, entre os maciços do Pico da Antónia e da Serra Malagueta. Em determinadas zonas da ilha, sobretudo nos flancos laterais destes dois maciços, podem ainda ser observados alinhamentos de nascentes determinados pela rede de fraturas. Do ponto de vista geológico, verifica-se que cerca de 70% das nascentes ocorrem no Complexo Eruptivo do Pico da Antónia; 16% no Complexo Eruptivo Interno Antigo; 6% na Formação dos Flamengos; 3% na Formação do Monte das Vacas; 3% na Formação dos Órgãos; e, 2% na Formação da Assomada.

As nascentes ocorrem ainda a altitudes variáveis, que vão desde os três(3) metros de altitude da nascente em Angrona (50-050) até os 804m de altitude da nascente Mato Dentro (54-220), apresentando vazões muito variáveis em função da época do ano e das condições hidrogeológicas.

#### 4.2. Poços Artesianos (Cacimbas)

A captação da água subterrânea a partir de poços escavados (Figura 5), conhecidos também em Santiago como poços artesianos, nas aluviões, perfurados a mão ou com o auxílio de explosivos, para ultrapassar rochas mais duras; tal processo não é recente na ilha de Santiago, sendo que até ao início dos anos 70 representava mais de 50% dos recursos hídricos para abastecimento às populações e para a agricultura.

Na ilha de Santiago estão inventariadas pelo INGRH 1074 poços com diâmetros (entre 1,5 e 3 m) e profundidades (entre 2,5 e 15 m) variáveis, o que dá uma média superior a um poço por cada km<sup>2</sup>. A grande maioria dos poços encontra-se localizada na orla costeira, a captar água nos aquíferos aluvionares e/ou em zonas de alteração da formação de base (basaltos fraturados).

Na parte central da ilha também existem poços, alguns localizados em zonas com altitudes superiores a 500 m, como é exemplo o poço 54-230 da Ribeira dos Picos, e que podem eventualmente estar a captar aquíferos suspensos. Poços na ilha são, na maioria das vezes, escavados até cerca de 2 a 3 m abaixo do nível freático e revestidos com alvenaria e basalto para evitar o seu desmoronamento.

Normalmente apresentam uma produtividade fraca, com vazões médias de 10 a 15 m<sup>3</sup>/dia, sobretudo quando construídos nas formações do CA, CB e λρ. Os poços escavados nas formações aluvionares, sobretudo quando espessas, podem captar vazões superiores a 100 m<sup>3</sup>/dia. No entanto, nos períodos de maior estiagem, os poços apresentam com frequência vazões bastante reduzidas e muitos chegam a secar, pondo em perigo importantes zonas agrícolas. Na maioria dos poços em

exploração, a água é captada através de motobombas, embora existam na ilha alguns poços aonde estão implantados moinhos de vento para a captação de água. Deve se realçar que a vulnerabilidade da qualidade da água explorada nos poços como risco de poluição é muito elevada, quer porque estando localizados em formações muito permeáveis nas proximidades da costa ou de zonas agrícolas e sujeitos a regimes de exploração intensivos, são afetados por fenômenos de intrusão salina e de contaminação difusa.

#### 4.4. Barragem de Poilão

A construção da barragem de Poilão teve como objetivo principal contribuir para o controle da intrusão salina, dado que a acumulação da água facilita a infiltração desde que seja em locais apropriados e definidos pelos estudos hidrogeológicos.

Contrariamente do que se espera, verifica-se um aumento da salinização dos pontos de água à jusante, por inexistir o regime de descarga bem definida, contribuindo fortemente para a alteração significativa de habitats, levando muitas vezes à redução brusca, ou mesmo ao desaparecimento, de algumas espécies vegetais e animais.

### **5. SALINIZAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**

Em termos geográficos, praticamente em toda a costa caboverdiana ocorrem solos salinos associados aos “borrifos” marinhos e influenciados pela tábua das marés. O clima, fator isolado e diretamente responsável pela ocorrência de solos salinos (holomórficos) no território e nas zonas com altitudes inferiores a 10 m em relação ao nível do mar, drenagem intermitente, proximidade do lençol freático, resultam no processo pedogênico de formação de solos holomórficos.

Os aquíferos costeiros constituem um importante recurso de água doce para os habitantes da ilha de Santiago, cuja qualidade tem decaído devido ao incremento das necessidades de água, consequência direta do maior desenvolvimento urbanístico, industrial e agrícola que se verifica nas zonas litorais. A exploração intensiva e prolongada em captações muito próximas do mar, onde não existe uma fonte de compensação destas extrações por recarga natural ou artificial do aquífero, provoca o avanço da interface água doce-água salgada para as terras emersas, observável nos furos de prospecção aquífera, com posterior contaminação (Figura 5.2.).

A principal consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a elevação do seu potencial osmótico, prejudicando as plantas em razão do decréscimo da disponibilidade de água daquele solo.

PINA (2005) destaca que a qualidade das águas superficiais na costa leste da ilha de Santiago – Cabo Verde (composição química e, sobretudo, nível de concentração), está claramente relacionada, de um lado, com a natureza do substrato local, especificamente a natureza da rocha e tipo de solo e, de outro, com o aspecto carbonático e magnésiano, sendo as águas subterrâneas notadamente mais concentradas do que as de superfície (barragem de Poilão, ainda que para este último observa-se uma grande diversidade de comportamento). O tipo de solo e do subsolo é um dos principais fatores que explicam as variações de qualidade das águas.

Analisar o comportamento do processo de equilíbrio entre as águas doces e salgadas com a realização de um estudo qualitativo de algumas amostras de água coletadas em diversos poços localizados na costa leste da ilha de Santiago, para auxiliar na definição da zona de transição entre essas águas, fomentando, assim, uma pesquisa básica e tecnológica para a gestão integrada dos recursos hídricos constitui uma necessidade urgente e imperativa para os técnicos nacionais.

Para alcançar este objetivo é necessário: estudar os mecanismos de exploração de aquíferos e a sua relação com a intrusão salina; identificar o grau de salinização na interface entre água doce e água salina na região costeira; analisar as técnicas de construção de poços tubulares utilizados para a captação de águas subterrâneas; levantar informações a respeito dos poços do local em estudo e identificar as causas da intrusão salina nos poços em questão.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Realizado o levantamento da situação atual da intrusão salina em zona leste da ilha de Santiago, e após consultar técnicos especializados na execução de captações, foram identificados diversas obras executadas em Cabo Verde com o propósito específico de limitar o avanço da água salgada.

Por outro lado, tem-se verificado o abandono dos furos (poços) afetados e pela execução de novos em local mais afastado do mar. Não é conhecido qualquer programa específico concretizado para a reabilitação de aquíferos afetados pela poluição salina.

Com a constituição da barragem de Poilão a montante, os drenos de captação foram afetadas à jusante de tal modo que urge a necessidade das entidades responsáveis em construir de emergência, a montante da barragem, novos poços e respectivos sistemas adutores.

As captações de sub-leito são vulneráveis à poluição salina e não havendo qualquer remoção de sais no processo de tratamento a qualidade da água distribuída degradava-se de imediato.

A resolução tradicional deste problema teve sempre uma perspectiva parcial e não regional.

A solução mais frequente foi a construção de novas captações localizadas a montante das barragens e de extensos sistemas de transporte de água. As barragens foram construídas e seu o regime de descargas não definido que permite de tal forma, o avanço da salinização nos aquíferos adjacentes.

Um caso evidente de progressão da salinização ocorre na bacia da Ribeira Seca. Os documentos e elementos estatísticos dos SERVIÇOS AUTÓNOMOS DE ÁGUA E DE SANEAMENTO - S.A.A.S. do Conselho de Santa Cruz (2010) relativos aos seus poços, indicam que a intrusão tem progressivamente avançado para o interior, agravando-se em especial nos períodos de seca. Este organismo chegou a desenvolver hipóteses para a implementação de recarga artificial através da injeção de água em poços. No entanto, estes trabalhos acabaram por não ser executados.

Com a concretização das obras de abastecimento de água público, através da dessalinização da água do mar no Concelho de Santa, pode levar a uma alteração na exploração das águas subterrâneas e eventualmente a um recuo da intrusão marinha.

A elaboração dos Planos de Bacia constitui uma excelente oportunidade para a caracterização dos aquíferos afetados pela poluição salina.

A extração desregrada de água doce em aquíferos costeiros para responder às crescentes utilizações, designadamente na agricultura, têm levado a execução de poços de exploração de águas subterrâneas cada vez mais profundos às quais correspondem maiores investimentos, elevados custos de exploração e inevitáveis prejuízos ambientais.

A reabilitação de aquíferos que foram afetados pela presença excessiva de sais é um processo dispendioso, habitualmente complicado e moroso. As ações preventivas que evitem a poluição salina, para além de racionais, revelam-se economicamente vantajosas.

O planeamento global de recursos hídricos, que considere as águas subterrâneas como uma das suas componentes, é a melhor via para a resolução racional dos atuais problemas e para que outros sejam evitados, designadamente de ordem ambiental e social. Assim, a prevenção e a resolução dos problemas derivados da poluição salina deverão ser tratados no domínio do planeamento e gestão dos recursos hídricos, numa escala regional e com uma perspectiva global que inclua os diversos fatores que condicionam as quantidades e qualidades da água necessárias para as distintas utilizações.

Uma das principais componente dessa estratégia global relaciona-se com o planeamento regional dos sistemas de abastecimento de água e dos sistemas de drenagem e tratamento de águas pluviais e residuais, designadamente para a definição dos locais mais aconselháveis para a implantação das captações, das estações de tratamento de águas residuais e dos locais de rejeição, eventualmente para reutilização ou recarga de aquíferos.

## **BIBLIOGRAFIA**

BURGEAP (1974) – La Mise en Valeur des Eaux Souterraines dans l'Archipel du Cap Vert, Rapport de Fin de Mission. Praia.

BURGEAP (1984) – Étude générale du massif de Serra Malagueta (Santiago). Praia.

Custodio, E. (1978) – Hidrologia de las rocas volcánicas. Proceedings III Congreso Internacional de Águas Subterráneas. Ponencia General. UNESCO – ESA – AIH, p 33-69. Palermo.

Custódio, E. & Llamas, M.R. (1983) - Hidrologia Subterrânea. Omega, Barcelona, (Vol. 1 e 2).

Custodio, E. (1986) – Groundwater characteristic and problems in volcanic rock terrains. In Isotopic techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks. International Atomic Energy Agency, p 87-137. Vienna.

Lobo de Pina, A. F. (2009) – Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago - Cabo Verde. Tese de doutoramento, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 231 pp.

Rabadan, E. (1992) – Estudio sísmico del eje de la presa de Trindade. Inédito. Madrid.