



**António Filipe
Lobo de Pina**

**Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas
da ilha de Santiago - Cabo Verde.**



**António Filipe
Lobo de Pina**

**Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas
da ilha de Santiago - Cabo Verde.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria Teresa Condesso de Melo, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Doutor Manuel Augusto Marques da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha
Vice-Reitor e Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor António Leão de Aguiar Cardoso Correia e Silva
Reitor e Professor Titular da Universidade de Cabo Verde

Doutor Manuel Augusto Marques da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (Co-orientador)

Doutora Susana Luísa Rodrigues Nascimento Prada
Professora Auxiliar com Agregação da Universidade da Madeira

Doutor José Manuel Martins de Azevedo
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Doutora Maria Teresa Condesso de Melo
Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Aveiro (Orientadora)

À Vera, minha mulher

Ao Júnior, Ilva e Edson, meus filhos

agradecimentos

Esta tese é o resultado de vários anos de estudos realizados nos Departamentos de Geociências da Universidade de Aveiro e do Instituto Superior de Educação - Universidade de Cabo Verde.

Gostaria de agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente tornaram possível a concretização deste trabalho e proporcionaram que atingisse esta nova etapa da minha vida. Permitam-me que vos diga MUITO OBRIGADO:

Em primeiro lugar quero agradecer à minha orientadora, a Doutora Teresa Condesso de Melo, pelo incentivo, olhar crítico e apoio incondicional em todas as etapas desta tese. Foi ela quem incentivou para a abordagem sobre a hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas na ilha de Santiago, factor este decisivo para um melhor conhecimento de comportamento hidrogeológico da ilha. O seu saber e experiência e visão científica permitiram-me abordar novos temas, tendo sido estes fundamentais para a realização deste trabalho. A sua contribuição no âmbito da definição das linhas mestras deste estudo, e nas incansáveis revisões e sugestões para este texto, foram essenciais.

Ao meu co-Orientador Prof. Doutor Manuel A. Marques da Silva, pela sua disponibilidade e apoio prestado ao longo do trabalho, demonstrando sempre a sua experiência e profundo conhecimento como investigador e como hidrogeólogo. Não podia deixar de realçar, que foi ele o arquitecto da realização deste estudo na Universidade de Aveiro.

Ao Prof. Doutor Mota Gomes com quem em várias situações pude discutir partes deste estudo. As suas concordâncias e discordâncias científicas revelaram-se muito úteis no esclarecimento de diversos aspectos.

Gostaria, também, de expressar a minha gratidão à Eng.^a Técnica Manuela Santos, pelo apoio em alguns procedimentos laboratoriais e análises químicas realizados em Cabo Verde.

Aos funcionários do INGRH, em particular os Senhores (as) Dr.^a Idalina Almeida, ao Dr. Jean Thomas, Sr. Ricardo e ao Sr. Luís Alfama, um agradecimento especial pela colaboração prestada no âmbito da realização deste estudo.

À Dr.^a Lourdes Lima (ISE) um carinho especial pela leitura e sugestões na redacção desta tese. Ao Celestino (ISE) agradeço todo o apoio prestado.

Aos colegas Carlos Grangeia (UA), Carlos Miraldo (UA) e Ana Buxo (IST), um agradecimento sincero por todo o apoio com a organização e tratamento de dados, nomeadamente na utilização do ArcGis. Aos colegas estudiosos da hidrogeologia das ilhas vulcânicas e que gentilmente cederam as suas teses e publicações para consulta, aqui deixo também os meus agradecimentos.

Gostaria também de agradecer às seguintes entidades:

Ao INGRH, INIDA e ao INMG, nas pessoas dos seus Presidentes e dos seus colaboradores, a todos os níveis, sem restrições, sobretudo no acesso aos dados fundamentais para a concretização deste estudo.

Às Câmaras Municipais da ilha de Santiago, que de alguma forma deram seu contributo para a materialização deste trabalho.

Ao Instituto Superior de Educação (ISE) - Universidade de Cabo Verde (UniCV) agradeço o apoio concedido à minha dispensa, em determinados períodos de serviço docente.

À FCT pelo financiamento da bolsa de Doutoramento SFRH/BD/9790/2003.

palavra-chave

Hidrogeologia; hidrogeoquímica; recarga subterrânea; Santiago; Cabo Verde

resumo

A ilha de Santiago, Cabo Verde é uma ilha de origem vulcânica, constituída basicamente por lavas e piroclastos, localizada no Oceano Atlântico ao lado da costa ocidental de África. A ilha é caracterizada por três unidades hidrogeológicas, sendo estas a Formação de Base (semi-confinada), a Formação Intermédia (freática) e a Formação Recente (freática), que apresentam características geológicas e comportamentos hidráulicos que as diferenciam, recebendo recarga directa e/ ou diferida por infiltração das águas de chuva e descarregam ao mar, na rede hidrográfica ou, ainda, em outros níveis aquíferos subjacentes, desde que induzidos por gradientes hidráulicos favoráveis.

O clima de Santiago é árido a semi-árido, com precipitações muito escassas e irregulares, condicionadas na sua distribuição pela altitude, ventos e orientação das vertentes, dando por vezes origem a períodos de seca prolongados. Em anos de 'boa' chuva, as precipitações propiciam a existência temporária de recursos hídricos superficiais e a recarga dos recursos de água subterrânea.

Foi realizado um estudo hidrogeoquímico detalhado da ilha que incluiu a recolha de amostras em 133 pontos de água, entre furos, poços e nascentes.

A composição química das águas analisadas na ilha de Santiago apresenta significativas variações em função da geologia e do tempo de residência. Na ausência de episódios de contaminação, as águas subterrâneas têm uma composição do tipo bicarbonatada-sódica ($\text{HCO}_3\text{-Na}$) nas zonas mais altas da ilha, onde afloram as formações da Unidade Aquífera Intermédia. Nas zonas mais próximas da costa ocorrem águas de composição cloretada-magnésiana (Cl-Mg) ou cloretada-sódica (Cl-Na). Estas últimas predominam nas partes terminais das ribeiras, onde afloram materiais de elevada permeabilidade, e o excesso de bombagem para irrigação tem conduzido a um avanço da cunha de intrusão marinha. A ocorrência da fácies Cl-Na é neste caso o resultado de processos de intercâmbio catiónico que ocorrem durante o processo de intrusão e é concordante com os elevados teores de cloretos e de condutividade eléctrica observados.

Os resultados das análises de isótopos estáveis de oxigénio-18 e deutério, realizadas em amostras recolhidas a distintas altitudes, revelam um gradiente negativo com a altitude, que já tinha sido verificado em outras ilhas com declives acentuados, permitindo assim determinar altitudes de recarga de água subterrânea.

Os estudos hidrogeoquímicos até agora realizados permitiram caracterizar os principais níveis aquíferos da ilha de Santiago, colocando em evidência a limitada recarga do aquífero e o risco de gradual degradação dos recursos de água subterrânea por fenómenos de intrusão salina e contaminação agrícola. Estes resultados revelam a importância da gestão integrada da qualidade e quantidade dos recursos de água subterrânea na ilha de Santiago.

keywords

Hydrogeology; hydrochemistry; groundwater recharge; Santiago; Cape Verde

abstract

The island of Santiago, Cape Verde, is an island of volcanic origin, consisting basically of lava and piroclastic materials. It is located in the Atlantic Ocean, alongside the western coast of Africa. The island is characterized by three hydrogeological units, the Base Formation (semi-confined), the Intermediate Formation (phreatic) and the Recent Formation (phreatic) that present different geological and hydraulic characteristics. They receive direct or differed recharge from rainfall infiltration and discharge to the sea, to the hydrographic net or even to other underlying aquifer levels if induced by favourable hydraulic gradients.

The arid or semi-arid climate of Santiago, with scarce and irregular precipitations that are conditioned by altitude, winds and slope's orientation, sometimes originates extended drought periods. In years of 'good' rain, the precipitation enables the temporary existence of surface water resources and the recharge of the groundwater resources.

A detailed hydrochemical study was carried out in the island which included the collection of groundwater samples in 133 sampling points, which included wells, boreholes and springs.

The chemical composition of the waters analysed in the island of Santiago presents significant variations in function of the geology and the residence time. In the absence of episodes of contamination, the groundwater composition is of HCO₃-Na type in the highest areas of the island, where the formations of the Intermediate Aquifer Unity outcrop.

In the areas close to the coast Cl-Mg or Cl-Na groundwaters occur. The latter predominate in the terminal parts of the creeks, where high permeability geological materials predominate; the excess of drainage for irrigation has been leading to an advancement of the wedge of sea intrusion. The Cl-Na facies is, in this case, the result of processes of cationic exchange that took place during the process of intrusion and is consistent with the elevated levels of chloride and of electric conductivity.

The stable isotope analyses carried out in samples collected at different altitudes reveal a negative gradient with the altitude, which had already been verified in other islands, allowing the determination of recharging altitudes.

The hydrogeochemical studies allowed the characterization of the main hydrogeological units of the island of Santiago, offering evidence of the limited recharge of the aquifer and the risk of gradual degradation of the water quality resources due mainly to saline intrusion and agricultural contamination.

The results show the importance of the integrated management of the groundwater quantity and quality scarce resources to guarantee sustainability in the island of Santiago.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do trabalho.....	4
1.2 Objectivos	4
1.3 Investigações hidrogeológicas anteriores.....	5
1.4 Metodologia.....	8

CAPÍTULO 2

2. ENQUADRAMENTO REGIONAL E GEOLÓGICO	11
2.1 Localização da zona de estudo	12
2.2 Geologia.....	13
2.2.1 Sequência vulcano-estratigráfica	15
2.2.1.1 Formações eruptivas	17
2.2.1.2 Formações sedimentares recentes de idade quaternária (a, e, d, dv, c, casc).....	25
2.2.2 Principais associações mineralógicas	29
2.2.3 Origem e processos de formação da ilha	30
2.3 Geomorfologia	33
2.3.1 Grandes unidades geomorfológicas	34
2.3.1.1 Achadas Meridionais.....	36
2.3.1.2 Maciço Montanhoso do Pico da Antónia.....	37
2.3.1.3 Planalto de Santa Catarina.....	39
2.3.1.4 Flanco Oriental	40
2.3.1.5 Maciço Montanhoso da Malagueta	43
2.3.1.6 Tarrafal.....	44
2.3.1.7 Flanco Ocidental	46

CAPÍTULO 3

3. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO	49
3.1 Inventário de pontos de água	51
3.1.1 Características gerais dos pontos de água.....	52
3.1.1.1 Furos.....	52
3.1.1.2 Nascentes	54
3.2.2.1 Poços.....	56

3.2	Principais unidades hidrogeológicas	59
3.2.1	Unidade Recente	61
3.2.2	Unidade Intermédia	61
3.2.3	Unidade de Base	62
3.3	Piezometria	63
3.4	Modelo hidrogeológico conceptual	70
3.5	Condições de descarga da água subterrânea	73
3.5.1	Condições naturais	73
3.5.2	Condições influenciadas	73
3.6	Principais usos da água subterrânea	74
3.6.1.1	Abastecimento público	74
3.6.1.2	Abastecimento para actividades económicas	75
3.6.1.3	Saneamento	76
3.6.1.4	Irrigação e pecuária	76
3.7	Vulnerabilidade e risco de contaminação dos recursos subterrâneos	78

CAPÍTULO 4

4.	RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	79
4.1	Clima	79
4.1.1	Precipitação	81
4.1.2	Temperatura	87
4.1.3	Humidade relativa	89
4.1.4	Insolação	93
4.1.5	Vento	94
4.1.6	Solos	95
4.1.7	Vegetação	96
4.2	Hidrologia	97
4.3	Área de recarga	99
4.4	Métodos de cálculo da recarga	101
4.4.1	Método de Penman-Grindley	102
4.4.1.1	Aplicação do método	103
4.4.2	Método de balanço de cloretos na zona saturada	107
4.4.2.1	Aplicação do método	108
4.5	Síntese dos resultados	109

CAPÍTULO 5

5. HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA	111
5.1 Amostragem das águas subterrâneas e métodos analíticos	113
5.2 Análise exploratória dos dados	118
5.2.1 Temperatura (T)	119
5.2.2 Condutividade eléctrica (CE)	121
5.2.3 pH	125
5.2.4 Catiões	126
5.2.4.1 Sódio (Na)	126
5.2.4.2 Potássio (K)	129
5.2.4.3 Cálcio (Ca)	130
5.2.4.4 Magnésio (Mg)	132
5.2.4.5 Silício (Si)	135
5.2.5 Aniões	136
5.2.5.1 Cloreto (Cl)	136
5.2.5.2 Bicarbonato (HCO ₃)	138
5.2.5.3 Sulfato (SO ₄)	140
5.2.5.4 Nitrato (NO ₃)	141
5.2.6 Fácies hidroquímicas	143
5.3 Assinatura isotópica das águas subterrâneas	146
5.3.1 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$)	147
5.3.2 Tempos de residência (^3H e ^{14}C)	150
5.4 Riscos de contaminação da água subterrânea	150
5.4.1 Contaminação agrícola	151
5.4.2 Intrusão salina	152
5.5 Algumas considerações finais sobre a qualidade água subterrânea	154

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	157
-------------------------------	-----

CAPÍTULO 7

7. BIBLIOGRAFIA	165
ANEXO A	177
ANEXO B	203
ANEXO C	209

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Algumas características fisiográficas das ilhas do arquipélago de Cabo Verde.....	12
Tabela 2.2. Estratigrafia do Complexo eruptivo do Pico da Antónia segundo Serralheiro (1976). ..	22
Tabela 2.3. Principais associações mineralógicas existentes nas formações geológicas da ilha de Santiago (Martins, 2003)	29
Tabela 2.4. Principais bacias hidrográficas das Achadas Meridionais.	37
Tabela 2.5. Principais bacias hidrográficas do Flanco Oriental.	42
Tabela 2.6. Principais bacias hidrográficas do Flanco Oriental.	44
Tabela 2.7. Bacias hidrográficas do Tarrafal.	46
Tabela 2.8. Bacias hidrográficas do Flanco Ocidental.....	47
Tabela 3.1. Características das unidades hidrogeológicas da Ilha de Santiago (Adaptado de BURGEAP, 1974).....	60
Tabela 4.1. Coordenadas das estações meteorológicas (E.M) e postos udométricos (P.U.) da ilha de Santiago (Fonte: INMG, Praia).....	81
Tabela 4.2. Valores médios mensais da temperatura para as estações e períodos indicados	87
Tabela 4.3. Quantidade de água produzida a partir da intercepção do nevoeiro em diferentes locais do globo (Cereceda & Schemenauer, 1996 e Prada & Silva, 2001).....	92
Tabela 4.4. Volume total pluviométrico da ilha de Santiago.	98
Tabela 4.5. Fórmulas empíricas propostas por diversos autores e utilizadas para o cálculo da recarga na ilha de Santiago com base em dados actuais (P=363 mm/ano).....	102
Tabela 4.6. Balanço hidrológico sequencial para as zonas áridas e semi-áridas (0-400 m) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficit; ΔR = reserva)	105
Tabela 4.7. Balanço hidrológico sequencial para as zonas semi-húmidas (400-600 m de altitude) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficit; ΔR = reserva).....	106
Tabela 4.8. Balanço hidrológico sequencial para as zonas húmidas (>600 m de altitude) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficit; ΔR = reserva).	106
Tabela 4.9. Cálculo do volume anual de recarga subterrânea na ilha de Santiago pelo método de Penman-Grindley (o método de Thornthwaite para o cálculo da ETP não foi considerado). ...	107
Tabela 4.10. Composição química da água da chuva na ilha de Santiago (amostras de água da chuva recolhidas em Agosto e Setembro 2003).....	109
Tabela 4.11. Cálculo do volume anual de recarga subterrânea na ilha de Santiago pelo método de balanço de cloretos.	109
Tabela 5.1. Erros de balanço admissíveis em função da condutividade eléctrica da água (Custodio & Llamas, 2001)	117

Tabela 5.2. Dados estatísticos básicos dos valores de temperatura (°C) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	120
Tabela 5.3. Dados estatísticos básicos dos valores de condutividade eléctrica (µS/cm) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).....	123
Tabela 5.4. Dados estatísticos básicos dos valores de pH das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.	126
Tabela 5.5. Dados estatísticos básicos dos valores de sódio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).	128
Tabela 5.6. Dados estatísticos básicos dos valores de potássio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	130
Tabela 5.7. Dados estatísticos básicos dos valores de cálcio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).	132
Tabela 5.8. Dados estatísticos básicos dos valores de magnésio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).	134
Tabela 5.9. Dados estatísticos básicos dos valores de silício (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	135
Tabela 5.10. Dados estatísticos básicos dos valores de cloreto (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).	137
Tabela 5.11. Dados estatísticos básicos dos valores de bicarbonato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).	139
Tabela 5.12. Dados estatísticos básicos dos valores de sulfato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	141
Tabela 5.13. Dados estatísticos básicos dos valores de nitrato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	142

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1. A dificuldade no acesso à água para satisfazer as necessidades básicas de saúde, higiene e alimentação da população de Cabo Verde dificulta o seu desenvolvimento sustentável.	1
Fig. 1.2. Volume de água consumida pelos diversos sectores da sociedade Cabo-Verdiana em 2006 com base nos dados do INGRH (2007) e da ELECTRA S.A.R.L. (Empresa de Electricidade e Água de Cabo Verde) (2006).	2
Fig. 1.3. Barragem do Poilão construída no concelho de S. Jorge dos Órgãos, em 2006, numa parceria entre o Governo da República de Cabo Verde e a Cooperação Chinesa.	3
Fig. 2.1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental de África.	11
Fig. 2.2. Localização dos nove concelhos da ilha de Santiago (Cabo Verde).	13
Fig. 2.3. Localização geotectónica do arquipélago de Cabo Verde (Knipper <i>et al.</i> , 1990).	14
Fig. 2.4. Carta Geológica da Ilha de Santiago, Cabo Verde, digitalizada a partir de Serralheiro (1977).	16
Fig. 2.5. Localização da formação do Complexo eruptivo interno antigo (CA) (A) e fotografias de afloramentos da formação do CA na Ribeira de Charco sob o Pico da Antónia (B) e do complexo filoniano que ocupa a quase totalidade das manchas do CA (C).	17
Fig. 2.6. Localização da Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$) (A) e fotografia da mesma formação na zona de Boa Entradinha (B).	18
Fig. 2.7. Localização da Formação dos Órgãos (CB) (A) e fotografia da formação na zona de São Jorge dos Órgãos (B).	20
Fig. 2.8. Localização da Formação do Pico da Antónia (PA) (A) e fotografias da fase sub-aérea do PA na zona de Santa Clara (B) e da acção da erosão na formação do PA (C).	22
Fig. 2.9. Localização da Formação da Assomada (A) e fotografia de um afloramento da formação (B).	24
Fig. 2.10. Localização da Formação do Monte das Vacas (MV) (A) e fotografia do Monte das Vacas (B).	24
Fig. 2.11. Localização das Formações sedimentares recentes de idade quaternária (A) e fotografia destas formações no vale da ribeira da Achada Baleia (B).	25
Fig. 2.12. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NW-SE).	26
Fig. 2.13. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NE-SW).	27
Fig. 2.14. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NE-SW).	28
Fig. 2.15. Modelo de evolução da ilha do Maio segundo Stillman <i>et al.</i> (1982).	30
Fig. 2.16. Grandes unidades geomorfológicas da ilha de Santiago, segundo Marques (1990).	35
Fig. 2.17. Perfil topográfico das Achadas Meridionais elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.	36
Fig. 2.18. Vista parcial do maciço do Pico de Antónia.	38
Fig. 2.19. Perfil topográfico do Maciço Montanhoso do Pico da Antónia, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.	38

Fig. 2.20. Perfil topográfico do Planalto de Santa Catarina, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.....	39
Fig. 2.21. Vista parcial do Planalto de Santa Catarina.....	40
Fig. 2.22. Perfis topográficos do Flanco Oriental, elaborados a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.....	41
Fig. 2.23. Vista parcial do Maciço Montanhoso da Malagueta.....	43
Fig. 2.24. Perfil topográfico do Maciço Montanhoso da Malagueta, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.....	44
Fig. 2.25. Vista parcial do Monte Graciosa.....	45
Fig. 2.26. Perfil topográfico do Terrafal, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.....	45
Fig. 2.27. Perfil topográfico do Flanco Ocidental, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.....	47
Fig. 3.1. Localização dos furos de captação de água subterrânea inventariados para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.....	53
Fig. 3.2. Furos de captação de água subterrânea na ilha de Santiago.....	53
Fig. 3.3. Localização das nascentes inventariadas para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.....	54
Fig. 3.4. Evolução do caudal das nascentes do Convento (58-1), Águas Podres (51-6/7/8) e do Beco da Ribeira Selada que drenam formações geológicas diferentes.....	55
Fig. 3.5. Nascentes do Beco da Ribeira de Sedeguma (54-6) e do Bom Pó (55-76) utilizadas pelas populações da ilha de Santiago para consumo humano e lavagem de roupa.....	56
Fig. 3.6. Poço escavado em formações aluvionares localizado na Praia Baixo (56-44) e utilizado para irrigação dos cultivos.....	56
Fig. 3.7. Localização dos poços de captação de água subterrânea seleccionados para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.....	57
Fig. 3.8. Poços localizados na Ponta Verde (52-29) e na Ribeira de Flamengos (FT-5) da ilha de Santiago. No poço da Ponta Verde pode verificar-se o elevado número de bombas instaladas.....	58
Fig. 3.9. Principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.....	59
Fig. 3.10. Evolução do nível piezométrico em furos/ piezómetros da rede de monitorização do INGRH na ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.....	65
Fig. 3.11. Evolução do nível piezométrico em poços da rede de monitorização do INGRH na ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.....	66
Fig. 3.12. Evolução do caudal das nascentes existentes da rede de monitorização do INGRH na ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.....	67
Fig. 3.13. Piezometria da ilha de Santiago entre 1999 e 2002.....	68
Fig. 3.14. Piezometria da ilha de Santiago entre 2003 e 2008.....	69
Fig. 3.15. Modelo hidrogeológico conceptual da ilha de Santiago.....	71
Fig. 3.16. Exploração ilegal de inertes para a construção civil no leito das ribeiras junto às praias.....	74
Fig. 3.17. Fontanário para abastecimento de água à população de Ribeirão Chiqueiro e que explora o furo FBE-53.....	75

Fig. 3.18. Utilização da água subterrânea para a irrigação dos cultivos.	77
Fig. 3.19. Diques de retenção de água de escorrência superficial.	77
Fig. 4.1. Evolução da precipitação na ilha de Santiago desde 1963 à actualidade (dados medidos na cidade da Praia, S. Jorge e Serra da Malagueta).	80
Fig. 4.2. Localização dos postos udométricos e estações meteorológicas na ilha de Santiago (coordenadas UTM em metros).	82
Fig. 4.3. Mapa de distribuição da precipitação média anual da ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados entre 1970-2005).	84
Fig. 4.4. Relação entre precipitação média anual e a altitude na ilha de Santiago (série de dados entre 1970-2005).	84
Fig. 4.5. Relação entre precipitação média anual e a distância à costa na ilha de Santiago (série de dados entre 1970-2005).	85
Fig. 4.6. Evolução da precipitação anual em pontos de monitorização localizados nas diferentes zonas bioclimáticas da ilha de Santiago (dados do INMG, Praia; série de dados entre 1960-2005).	86
Fig. 4.7. Mapa de distribuição da temperatura média anual da ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados disponíveis para cada uma das estações).	87
Fig. 4.8. Comparação entre as temperaturas médias anuais do ar medidas na estação meteorológica do aeroporto da cidade da Praia, S. Jorge dos Órgãos e Assomada (série de dados entre 1981-2005).	88
Fig. 4.9. Comparação entre as temperaturas médias mensais do ar medidas na estação meteorológica do aeroporto da cidade da Praia e em S. Jorge dos Órgãos (série de dados entre 1981-2005).	89
Fig. 4.10. Comparação entre os valores médios anuais das humidades relativas medidas em diferentes estações meteorológicas da ilha de Santiago (série de dados entre 1982-2001).	90
Fig. 4.11. Mapa de distribuição dos valores médios anuais de humidade relativa na ilha de Santiago.	90
Fig. 4.12. Comparação entre os valores médios mensais das humidades relativas medidas em diferentes estações meteorológicas da ilha de Santiago (série de dados entre 1982-2001).	91
Fig. 4.13. Ensaio experimentais de intercepção e captação de água das nuvens e do nevoeiro para aproveitamento agrícola na Serra da Malagueta.	92
Fig. 4.14. Comparação entre número médio de horas de insolação medidos por mês em diferentes estações meteorológicas (série de dados entre 1982 - 2001).	93
Fig. 4.15. Comparação entre número médio de horas de insolação medidos por ano em diferentes estações meteorológicas (série de dados entre 1982-2001).	94
Fig. 4.16. Mapa de distribuição dos valores médios anuais de insolação na ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados disponíveis para cada uma das estações) (período de 1981-2001).	94
Fig. 4.17. Mapa de distribuição da velocidade média anual do vento na ilha de Santiago.	95
Fig. 4.18. Principais linhas de água e bacias hidrográficas da ilha de Santiago.	97
Fig. 4.19. Fotografias do efeito das chuvas intensas que caíram em Agosto-Setembro 2008 na ilha de Santiago (Fonte: http://propriedade.blogs.sapo.cv/tag/santiago).	98

Fig. 4.20. Identificação do impacto da recarga directa e diferida na evolução do nível piezométrico no poço 50-5.	99
Fig. 4.21. Formações aluvionares recentes no Tarrafal.	100
Fig. 4.22. Mapa das formações geológicas que constituem a área de recarga subterrânea na ilha de Santiago.	101
Fig. 4.23. Comparação dos valores de precipitação, evapotranspiração potencial calculados por diferentes métodos (Penman, Thornthwaite e medições da tina evaporimétrica e/ou evaporímetro de Piche) e evapotranspiração real.	104
Fig. 5.1. Cronograma das campanhas de amostragem para a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na ilha de Santiago.	114
Fig. 5.2. Mapa da área de estudo com pontos de água subterrânea amostrados.	115
Fig. 5.3. Localização espacial dos pontos de água analisados nos diferentes laboratórios.	116
Fig. 5.4. Balanço iónico para determinação do erro de análise das amostras de água subterrânea e comparação com o valor de condutividade eléctrica.	118
Fig. 5.5. Distribuição espacial das temperaturas da água subterrânea na ilha de Santiago.	119
Fig. 5.6. Relação entre as temperaturas da água subterrânea e a profundidade de captação.	121
Fig. 5.7. Evolução da temperatura da água subterrânea em alguns furos de captação de água subterrânea entre Janeiro 2004 e Janeiro de 2005.	121
Fig. 5.8. Distribuição espacial da condutividade eléctrica da água subterrânea na ilha de Santiago.	122
Fig. 5.9. Evolução da condutividade eléctrica com a distância à costa na ilha de Santiago.	124
Fig. 5.10. Distribuição espacial do pH da água subterrânea na ilha de Santiago.	125
Fig. 5.11. Distribuição espacial das concentrações de sódio na água subterrânea da ilha de Santiago.	127
Fig. 5.12. Comparação da evolução das concentrações do ião sódio com a distância à costa na ilha de Santiago.	128
Fig. 5.13. Distribuição espacial das concentrações de potássio na água subterrânea da ilha de Santiago.	129
Fig. 5.14. Distribuição espacial das concentrações de cálcio na água subterrânea da ilha de Santiago.	131
Fig. 5.15. Distribuição espacial das concentrações de magnésio na água subterrânea da ilha de Santiago.	133
Fig. 5.16. Evolução da relação molar Ca/ Mg nas águas subterrâneas da ilha de Santiago e influência da proximidade ao mar.	134
Fig. 5.17. Diagramas de sílica-álcalis totais nas três unidades hidrogeológicas da ilha.	136
Fig. 5.18. Distribuição espacial das concentrações de cloreto na água subterrânea da ilha de Santiago.	137
Fig. 5.19. Relação Br/Cl e Na/Cl na água subterrânea da ilha de Santiago.	138
Fig. 5.20. Distribuição espacial das concentrações de bicarbonato na água subterrânea da ilha de Santiago.	139

Fig. 5.21. Distribuição espacial das concentrações de sulfato na água subterrânea da ilha de Santiago.....	140
Fig. 5.22. Distribuição espacial das concentrações de nitrato na água subterrânea da ilha de Santiago.....	142
Fig. 5.23. Distribuição das principais fácies hidroquímicas nas diferentes unidades hidrogeológicas.	143
Fig. 5.24. Distribuição das principais fácies hidroquímicas nas diferentes unidades hidrogeológicas.	144
Fig. 5.25. Composição isotópica de ^{18}O e ^2H nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago e comparação com a recta meteórica global (GMWL) e local (LMWL).	147
Fig. 5.26. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago e comparação com a recta meteórica global (GMWL) e local (LMWL).....	148
Fig. 5.27. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H com o tipo e profundidade de captação.	149
Fig. 5.28. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H com o aumento de salinidade.....	149
Fig. 5.29. Distribuição do conteúdo de nitratos nas águas subterrâneas, com indicação dos pontos acima do valor máximo admissível para consumo humano (VMA = 11,3 mg/l).	152
Fig. 5.30. Distribuição do conteúdo de cloretos nas águas subterrâneas com clara indicação de salinização dos recursos de água doce ao longo de toda a costa oriental da ilha.....	153
Fig. 5.31. Evolução dos principais indicadores geoquímicos de salinidade ao longo do trajecto das ribeiras.....	154
Fig. 5.32. Comparação entre as concentrações de alguns constituintes principais e os seus valores máximos admissíveis na água para consumo humano segundo a OMS (1993).	155

1

INTRODUÇÃO

As reservas de água doce são um recurso natural com uma importância estratégica no desenvolvimento sustentável de uma região ou país. Em África, os recursos de água doce são determinantes para combater a pobreza e melhorar as condições de saúde, higiene e nutrição das populações; para aumentar a produtividade agrícola e o desenvolvimento industrial; para melhorar a oferta turística; e para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres associados aos escassos recursos de água existentes.

A escassez dos recursos de água em África está muitas vezes relacionada com aspectos naturais, como: (1) a localização geográfica em zonas de clima árido ou semi-árido, com temperaturas elevadas e pluviosidades reduzidas; (2) a ocorrência de condições hidrogeológicas complexas, com predomínio de formações pouco permeáveis, tornando por vezes muito difícil o acesso aos recursos de água subterrânea; e, (3) as características das redes hidrográficas, por vezes quase incipientes e de carácter efémero. No entanto, aqui também, a escassez de água é com frequência agravada por uma gestão não sustentável dos recursos hídricos e por problemas de contaminação, que limitam a

utilização dos recursos de água doce por parte das populações (Fig. 1.1).

Para Cabo Verde, tal como para muitos países africanos, a água é uma questão nacional. Na década de 60, a falta de água contribuiu para espalhar a fome e a pobreza pelo arquipélago e obrigou à realização dos primeiros estudos com o objectivo de avaliar o potencial hídrico das principais ilhas.

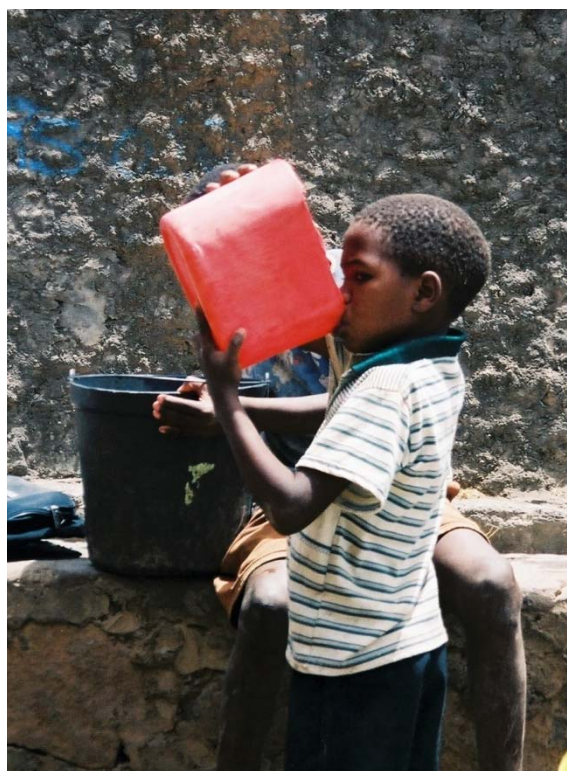


Fig. 1.1. A dificuldade no acesso à água para satisfazer as necessidades básicas de saúde, higiene e alimentação da população de Cabo Verde dificulta o seu desenvolvimento sustentável.

A pressão exercida pelos diversos sectores sócio-económicos da sociedade cabo-verdiana sobre os recursos hídricos tem vindo a aumentar, agravada pela escassez de chuva nas últimas décadas, pela limitada capacidade de armazenamento de águas superficiais e pela gradual contaminação das águas subterrâneas.

O Plano Director para a Valorização dos Recursos de Água da República de Cabo Verde (PNUD - CNAG, 1993) estimava que existiriam cerca de 181 hm³ de recursos de água doce superficial e 124 hm³ de recursos de água subterrânea potencialmente exploráveis por ano em Cabo Verde. No entanto, estes valores parecem estar claramente sobrestimados quando comparados com estudos mais recentes realizados pela Agência de Cooperação Internacional do Japão em colaboração com o Instituto Nacional Gestão dos Recursos Hídricos (INGRH) (1999).

Apesar de as estimativas de recursos de água superficial potencialmente exploráveis serem superiores às dos recursos de água subterrânea, estes últimos são a principal origem de água doce em Cabo Verde. O aproveitamento dos recursos de água superficial é ainda hoje muito limitado, perdendo-se uma parte importante desta água (principalmente após o período das chuvas) para o mar. Hoje em dia, os grandes centros urbanos e principais unidades hoteleiras das ilhas de Santiago, S. Vicente, Sal e Boavista recorrem já à utilização de água do mar dessalinizada para garantir as restantes necessidades de água doce.

Dados actuais da Divisão de Exploração e Gestão do INGRH revelam que em 2006 foram explorados no arquipélago cerca de 6,53 hm³ de água a partir de furos, poços, nascentes e galerias, que foram complementados por 4,26 hm³ de água dessalinizada, para satisfazer as necessidades globais de água para a agricultura (29%), indústria (1%) e para uso doméstico da população e turismo (70%) (Fig. 1.2).

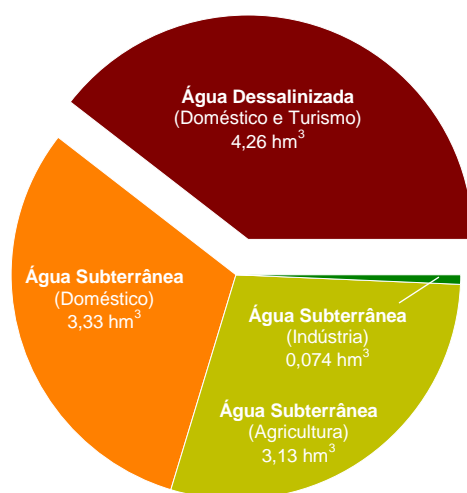


Fig. 1.2. Volume de água consumida pelos diversos sectores da sociedade Cabo-Verdiana em 2006 com base nos dados do INGRH (2007) e da ELECTRA S.A.R.L. (Empresa de Electricidade e Água de Cabo Verde) (2006).

A distribuição dos recursos de água doce no arquipélago Cabo Verde não é uniforme, já que estes estão na sua maioria associados aos leitos das principais ribeiras, que funcionam como zonas de escorrência e infiltração preferencial de água durante a época das chuvas, mas que se encontram secos durante o resto do ano. Nestas zonas, a água é normalmente explorada a partir de poços e furos de profundidades variáveis, e utilizada directamente no abastecimento às populações através de fontanários ou canalizada para irrigação. Existem também inúmeras nascentes, principalmente nas partes altas das ilhas, cuja a água é normalmente captada através de galerias e posteriormente conduzida por levadas para cotas inferiores.

As mulheres e crianças desempenharam desde sempre um papel importante no transporte da água em Cabo Verde mas com consequências negativas ao nível da saúde e educação das populações. No entanto, tem sido feito esforço gradual para reduzir as distâncias entre a população e os pontos de água, recorrendo-se muitas vezes a camiões - cisterna para abastecer tanques que foram colocados estrategicamente em zonas onde não existem quaisquer outros recursos de água doce. Segundo dados actuais do Ministério do Ambiente e Agricultura (comunicação oral no dia 22 de Março 2007, Dia Mundial da Água), Cabo Verde aproxima-se de uma das metas estabelecida pelas Nações Unidas para o novo milénio, com cerca de 85% da população cabo-verdiana residente nas zonas urbanas a menos de 15 minutos de um ponto de distribuição de água potável. Nas zonas rurais, essa percentagem é de 72%.

Importa ainda salientar que foi concluída, em Julho de 2006, a barragem do Poilão, a primeira barragem a ser construída em Cabo Verde, e que está localizada na ilha de Santiago. Estima-se que poderá proporcionar o aprovisionamento de cerca de 1,7 milhões de metros cúbicos de água e que terá benefícios importantes principalmente para o sector da agricultura (Fig. 1.3).



Fig. 1.3. Barragem do Poilão construída no concelho de S. Jorge dos Órgãos, em 2006, numa parceria entre o Governo da República de Cabo Verde e a Cooperação Chinesa.

1.1 Enquadramento do trabalho

O presente trabalho de investigação é o reconhecimento da importância da qualidade da água subterrânea para a melhoria das condições de vida da população da ilha de Santiago, em Cabo Verde. E foi motivado por diversas interrogações levantadas durante a realização de trabalhos de campo de hidrogeologia na zona terminal da Ribeira Seca (SW da ilha de Santiago), que revelaram a má qualidade da água subterrânea (nomeadamente a elevada salinidade) e colocaram em manifesto o seu impacto na gradual degradação e abandono de extensas zonas agrícolas.

O desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa sobre a qualidade da água subterrânea na ilha de Santiago foi enquadrado numa linha de investigação da área de hidrogeologia, desenvolvida no Departamento de Geociências do Instituto Superior de Educação, em colaboração com o Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. É importante, e merece ser destacado, o papel do Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (INGRH) de Cabo Verde na disponibilização do inventário de pontos de água da ilha e de toda a informação de monitorização necessária sobre volumes captados, caudais de nascentes, níveis piezométricos, e que constituíram o ponto de partida para o presente trabalho de investigação. Também se dá relevo à parceria com o Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA), no âmbito da qual foi assegurada a realização de uma parte importante das análises químicas das águas subterrâneas utilizadas nesta dissertação.

Neste trabalho serão estudados os processos hidrogeoquímicos, naturais ou induzidos pelas actividades do Homem, responsáveis pela evolução da qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago, dando-se particular atenção à caracterização da composição química das águas subterrâneas e à avaliação da vulnerabilidade das principais unidades hidrogeológicas à contaminação. Serão ainda estudadas detalhadamente as zonas de costa onde há actualmente sobreexploração da água subterrânea e sinais evidentes de intrusão marinha. Por outro lado, outras situações de potencial risco de contaminação, que possam tornar inadequada a utilização da água para certas finalidades, também serão tidas em devida conta.

1.2 Objectivos

O presente trabalho de investigação integra informação variada sobre o clima, a geologia, a hidrogeologia, a geoquímica e o fluxo subterrâneo na ilha de Santiago (Cabo Verde). Dados da composição química e isotópica das águas subterrâneas foram usados para melhorar o conhecimento actual sobre a qualidade da água e os processos hidrodinâmicos do fluxo subterrâneo na ilha de Santiago. Esta melhoria no conhecimento hidrogeológico é importante não só numa perspectiva científica mas também do ponto de vista do desenvolvimento sustentável da região.

Os objectivos específicos deste estudo incluem:

- a sistematização do conhecimento hidrogeológico da ilha de Santiago, integrando os resultados dos novos dados de monitorização fornecidos pelo INGRH;
- a definição das principais direcções e divisórias do fluxo subterrâneo;
- uma estimativa da recarga natural das águas subterrâneas utilizando métodos hidrológicos e hidroquímicos;
- a interpretação dos principais processos de interacção água-rocha que controlam o quimismo das águas subterrâneas nas três unidades hidrogeológicas;
- a identificação das zonas da ilha de Santiago mais vulneráveis aos fenómenos de contaminação, nomeadamente aos processos de intrusão salina e contaminação difusa;
- a integração da informação hidrogeológica e geoquímica para melhor compreender a ocorrência de recursos de água subterrânea na região e a relação entre os aquíferos superficiais e os mais profundos.

Tendo em conta a importância estratégica da água subterrânea na ilha de Santiago e considerando a notória escassez deste recurso, serão estabelecidas no final desta tese, uma série de recomendações com o objectivo de providenciar informação científica adicional que permita uma melhor gestão dos recursos de água na região e proporcionem mecanismos complementares que apoiem a tomada de decisões.

No final deste trabalho, algumas hipóteses certamente ficarão por esclarecer. No entanto, não deixaremos de apresentar o trabalho realizado, o qual, esperamos, poderá fornecer certas pistas e constituir um ponto de partida para novas investigações.

1.3 Investigações hidrogeológicas anteriores

A hidrogeologia e os recursos hídricos na ilha de Santiago, ao longo de vários anos, vêm sendo objecto de estudo nos domínios mais variados como a geologia, hidrologia e hidrogeoquímica, entre outros. O presente trabalho vem concretizar um percurso marcado por vários estudos de índole técnica e científica, de carácter local e/ou regional, para, de certa forma, colmatar a escassez de investigações e publicações de carácter regional sobre o quimismo e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago.

O primeiro trabalho de reconhecimento hidrogeológico do arquipélago de Cabo Verde, foi realizado por Costa (1962), tendo contribuído para a abordagem da problemática do abastecimento de água para as populações, regadio e gado, com o objectivo principal de preconizar soluções imediatas.

Entre Setembro de 1971 a Dezembro de 1973, Vailloux & Bourguet (1974) levaram a cabo um projecto de pesquisa de águas subterrâneas em todo o arquipélago de Cabo Verde, tendo realizado nas ilhas da Boavista, Fogo, Santiago e São Nicolau, um inventário completo de pontos de água e reconhecimentos geofísicos através de sondagens eléctricas. Nas ilhas da Brava, Maio, Sal, Santo Antão e São Vicente, foi feito um inventário sumário dos recursos hídricos. Este estudo permitiu definir as principais características e potencialidades hidrogeológicas das ilhas e traçar as grandes linhas para um programa de exploração de águas subterrâneas no arquipélago.

Desde 1971 foram realizados estudos geológicos detalhados (petrologia, mineralogia, paleontologia) da ilha de Santiago que culminaram com a apresentação de uma tese de doutoramento intitulada a 'Geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde)' (Serralheiro, 1976). De realçar que dessa dissertação resultou a publicação das cartas geológicas da ilha (12 folhas) na escala 1:25 000, que vieram a servir de suporte aos diversos estudos geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos que se seguiram.

Desde 1975, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) apoiou diversos projectos para avaliar e caracterizar os recursos hidrogeológicos de Cabo Verde. O Projecto CVI 75/001 abrangeu as ilhas de Santiago, Maio, São Vicente, Boavista e Sal e incluiu a realização de 200 furos dos quais só 62 foram equipados com bombas.

Fernandopullé (1977, 1979) apresentou dois relatórios síntese sobre a caracterização dos recursos hídricos de Cabo Verde, tendo chamada a atenção para a incerteza dos métodos de avaliação dos recursos hídricos da ilha devido à falta de dados de monitorização.

Os Projectos CVI 79/001 e CVI 82/001 tiveram como objectivo principal analisar os diversos resultados hidrogeológicos obtidos, para a avaliação dos recursos de água do arquipélago, com especial realce para o reforço das estruturas locais de gestão.

O Projecto CVI 86/001 surgiu na sequência de uma missão de avaliação realizada pelo PNUD em Fevereiro de 1986, e indicava a necessidade de: a) uma reflexão conjunta sobre a hidráulica de Cabo Verde; b) estabelecer recomendações para um novo quadro de acções. Deste projecto preparatório resultou o Projecto PNUD/DCTD/CVI 87/001 que foi implementado entre 1988 e 1991, e do qual resultaram muitas das infra-estruturas actualmente existentes no arquipélago para a exploração de recursos de água doce.

Mota Gomes (1980) no seu estudo sobre a 'Hidrogeologia de Santiago' realizou um inventário dos principais pontos de água, integrou e interpretou os diversos dados de ensaios de bombagem disponíveis e caracterizou do ponto de vista hidráulico, as diversas unidades hidrogeológicas. Igualmente, neste estudo são caracterizados os principais tipos de captações construídas na ilha e são apresentados grandes projectos hidro-agrícolas desenvolvidos na ilha.

Em 1983, a BURGEAP-CGG faz um reconhecimento geofísico da ilha determinante para a futura prospecção das águas subterrâneas. Seguem-se-lhe diversos estudos mais detalhados (BURGEAP, 1983, 1984, 1985, 1986 e 1991), para a caracterização das potencialidades hídricas de várias partes da ilha de Santiago, mostrando as variações geológicas e hidrogeológicas que condicionam o comportamento hidrogeológico das várias unidades existentes na ilha.

Barmen *et al.* (1984) apresentam um estudo hidrogeológico, com base em investigações hidrogeoquímicas e geofísicas nas regiões de Santa Catarina, Tarrafal e Santa Cruz. Neste estudo são interpretados e integrados dados geológicos, geofísicos e do quimismo da água subterrânea, sendo proposto um modelo hidrogeológico da ilha. Os autores determinam ainda valores de trítio em quatro amostras de água recolhidas a diferentes altitudes, estimando uma idade média superior a 20 anos para as águas subterrâneas na zona de estudo. No entanto, recomendam a realização de estudos isotópicos complementares numa área mais abrangente da ilha.

Akiti (1985), num relatório realizado para a Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), a pedido do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), apresenta os resultados de um estudo hidroquímico e isotópico (isótopos estáveis e trítio) realizado no arquipélago de Cabo Verde e que contribui para um melhor conhecimento dos recursos de água subterrânea, nomeadamente sobre a origem e idade das águas subterrâneas.

Dahlin *et al.* (1986) apresentam resultados de sondagens de resistividade eléctrica vertical e de VLF (“Very Low Frequency”) realizados na zona do Tarrafal, na parte Norte da ilha de Santiago, para a prospecção de água subterrânea.

Poitrinal (1991) coordenou os trabalhos de assistência à Junta dos Recursos Hídricos (JRH), actual INGRH, para a avaliação e gestão dos recursos em água (Projecto CVI 87/001) que o PNUD iniciou em 1975, com o objectivo de minimizar as dificuldades resultantes da escassez de água que o país atravessava, e que, por sua vez, veio a reproduzir-se em vários outros projectos, nomeadamente:

INGRH & Cooperação Espanhola (1994) no trabalho Síntese Geo-hidrológica de Cabo Verde, disponibilizaram informações sobre a hidrologia, geologia, hidroquímica e hidrogeologia das ilhas de Cabo Verde, sobre a nova estrutura de gestão e perspectivas futuras para o sector e ainda, sobre as principais acções que deveriam ser levadas a cabo para conhecer melhor a realidade hidrogeológica do país.

A Agência Japonesa de Cooperação Internacional & INGRH (1999) apresentaram o relatório final de um estudo sobre o desenvolvimento da água subterrânea na ilha de Santiago, com o objectivo de realizar o uso efectivo dos resultados de investigação, avaliar o potencial de exploração dos recursos hídricos da ilha de Santiago, e formular um plano de desenvolvimento e/ou reabilitação das infra-estruturas hídricas existentes.

A mesma Agência de Cooperação Internacional do Japão (2003), no seu relatório do estudo de desenho básico para o projecto de desenvolvimento de águas subterrâneas e abastecimento de água no sector rural na ilha de Santiago, traça objectivos específicos visando beneficiar cerca de 22 000 habitantes mais carentes de água em 34 localidades dos 6 concelhos previamente identificados, com água potável e melhoria das condições sanitárias das populações. Fizeram investimentos na construção de infra-estruturas e equipamentos.

Monteiro Santos *et al.* (2006), no âmbito do projecto Hydroarid, estudaram a complexa questão do avanço da interface água doce - água salgada em algumas das principais ribeiras da ilha de Santiago, utilizando dois métodos de prospecção electromagnética (método magnetotelúrico, MT, e transiente electro-magnético, TEM), bem como análises químicas e isotópicas de amostras de águas recolhidas em diferentes pontos da ilha (Carreira *et al.*, 2007a,b,c,d).

Outros estudos recentes sobre a hidrogeologia e hidrogeoquímica da ilha de Santiago foram apresentados por Heitor & Pina (2003), Mota Gomes *et al.* (2004), Lobo de Pina *et al.* (2004, 2005, 2006), Monteiro Santos *et al.* (2006), Mota Gomes (2007) e Condesso de Melo *et al.* (2008) tendo todos estes trabalhos contribuído para uma melhoria do conhecimento hidrogeológico da ilha de Santiago.

1.4 Metodologia

A metodologia adoptada para a preparação deste trabalho de investigação é multidisciplinar e implicou a interpretação de informação variada de diferentes áreas de conhecimento científico, nomeadamente da climatologia, hidrologia, geologia, hidrogeologia e geoquímica. A integração de toda a informação recolhida nas diversas fases do projecto foi feita recorrendo à implementação de um sistema de informação geográfica (SIG) e a maioria dos dados foi graficada utilizando os programas SigmaPlot[®] for Windows versão 11.0 (Systat Software, Inc.) e Surfer[®] versão 8.0 (Golden Software, Inc.).

Para a realização deste trabalho de investigação procedeu-se:

- ao levantamento e recompilação geral da bibliografia específica disponível sobre as diversas áreas de investigação abrangidas pelo estudo (geologia, climatologia, hidrologia, hidrogeologia, geoquímica e geofísica) procedendo-se à respectiva síntese bibliográfica;
- à digitalização e correlação espacial da informação geológica e hidrológica disponível em mapas e logs de sondagens da área de estudo, utilizando o programa ArcGIS[®];
- à recolha e compilação de dados hidrometeorológicos para todos os postos e estações em funcionamento na ilha de Santiago e o respectivo tratamento, tendo como objectivo o cálculo do balanço hídrico;

- à recolha dos dados históricos disponíveis sobre a hidrogeologia e qualidade da água na ilha de Santiago e à sua organização numa base de dados da Microsoft® Access;
- à identificação das principais unidades hidrogeológicas, sua distribuição espacial e à elaboração de um modelo hidrogeológico conceptual da ilha de Santiago;
- à realização de duas campanhas de campo para a recolha de amostras de água subterrânea em furos, poços e nascentes previamente seleccionados na ilha de Santiago, sendo a primeira realizada nos meses de Junho/Julho de 2003, período de maior estiagem na ilha e a segunda realizada nos meses de Novembro de 2003 a Janeiro de 2004, período logo a seguir à época de chuvas;
- à utilização dos dados hidroquímicos para determinar os padrões de qualidade da água subterrânea e para inferir os principais processos geoquímicos.

Pela sua diversidade, o tema em questão comportou dificuldades acrescidas, sobretudo tendo em conta a anisotropia de ambientes vulcânicos, tornando assim este trabalho de investigação com carácter não definitivo, mas sim, como mais um contributo para o conhecimento da hidrogeologia e qualidade da água subterrânea da ilha de Santiago, em particular, e de ambientes vulcânicos, no geral.

2

ENQUADRAMENTO REGIONAL E GEOLÓGICO

O arquipélago de Cabo Verde está situado no Oceano Atlântico, entre os paralelos de latitude $14^{\circ} 48'$ e $17^{\circ} 12'$ Norte e os meridianos de longitude $22^{\circ} 44'$ e $25^{\circ} 22'$ Oeste, a cerca de 455 km a Oeste de Cabo Verde do Senegal (costa ocidental de África), de onde provém o nome do arquipélago (Fig. 2.1). O arquipélago é formado por dez ilhas e treze ilhéus, nove das quais habitadas, que ocupam uma área total de 4 033 km² e têm uma população total de cerca de 434 625 habitantes (INE, 2000), sendo que mais de metade vive na ilha de Santiago.

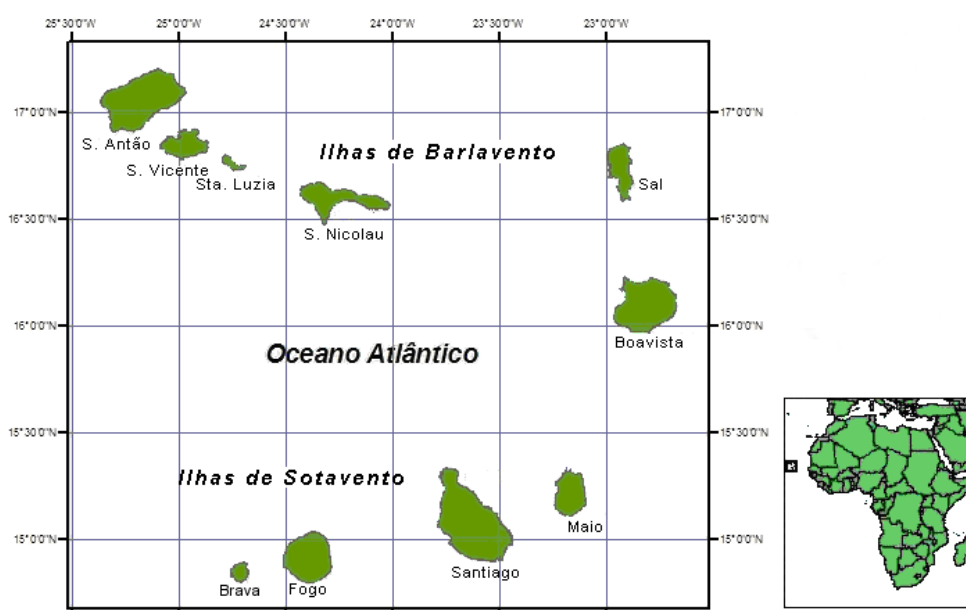


Fig. 2.1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental de África.

As ilhas são todas de origem vulcânica mas apresentam, para além de dimensões e configurações diversas, características geológicas e geomorfológicas que as diferenciam. Normalmente são classificadas em função da sua posição relativa à direcção 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 (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Algumas características fisiográficas das ilhas do arquipélago de Cabo Verde.

Ilha	Superfície Total ⁽¹⁾ (km ²)	População Total ⁽¹⁾ (hab)	Altitude Máxima ⁽²⁾ (m)	Precipitação Média ⁽³⁾ (mm/ano)	Recursos Água Estimados ⁽⁴⁾		Superfície Arável ⁽⁴⁾ (km ²)
					Superficiais (10 ⁶ m ³ /ano)	Subterrâneos (10 ⁶ m ³ /ano)	
Santo Antão	779	47 170	1 979	237	27,0	28,6	88,0
São Vicente	227	67 163	750	93	2,3	0,6	4,5
Santa Luzia	35	0	395	-	-	-	0,0
São Nicolau	346	13 661	1 312	142	5,9	4,2	20,0
Sal	216	14 816	406	60	0,7	0,4	2,2
Boavista	620	4 209	387	68	2,5	1,6	5,0
Maio	267	6 754	437	150	4,7	2,1	6,6
Santiago	991	236 627	1 394	321	56,6	42,4	215,0
Fogo	476	37 421	2 829	495	79,0	42,0	59,0
Brava	64	6 804	976	268	2,3	1,9	10,6
Outros ilhéus	12	0	-	-	-	-	0,0
Total	4 033	434 625	-	-	181,0	123,8	410,9

Fonte Dados: ⁽¹⁾ INE 2000; ⁽²⁾ Serviços Cartográficos do Exército, 1969; ⁽³⁾ INMG; ⁽⁴⁾ PNUD & CNAG, 1993

2.1 Localização da zona 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 (Fig. 2.2). Tem forma alongada na direcção NW-SE, com um comprimento máximo de 54,9 km entre a ponta Moreia, a Norte, e a ponta Mulher Branca, a Sul, e uma largura máxima de 29 km entre a ponta Janela, a Oeste, e a ponta Praia Baixo, a Leste. Com uma área de 991 km², 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.

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 concelhos (Tarfal, São Miguel, Santa Catarina, Santa Cruz, São Salvador, São Lourenço dos Órgãos, Ribeira Grande, São Domingos e Praia) e treze freguesias (Fig. 2.2).

Santiago é a ilha onde as potencialidades agrícolas são mais importantes (Tabela 2.1). 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.

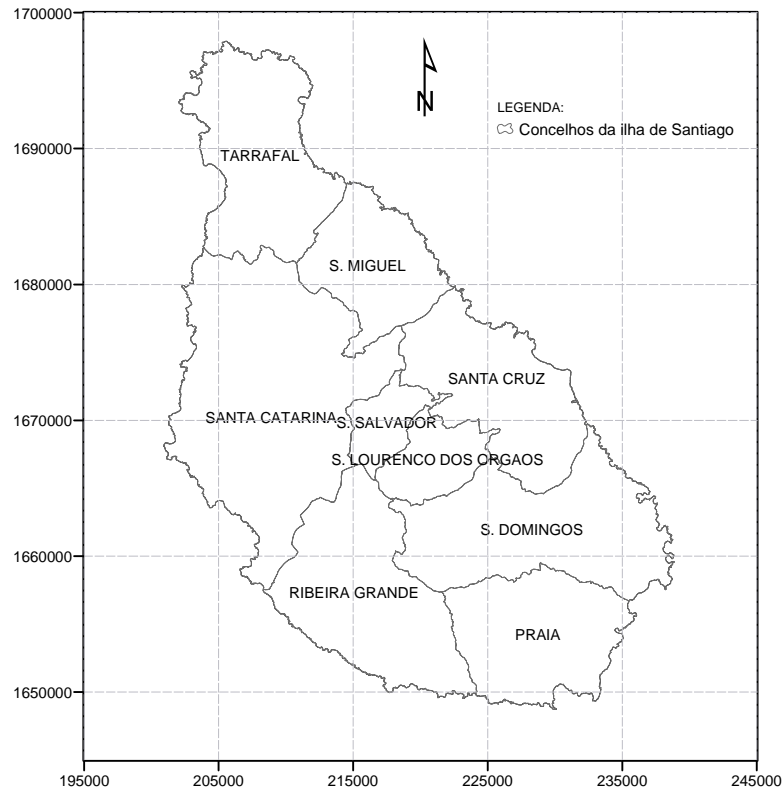


Fig. 2.2. Localização dos nove concelhos da ilha de Santiago (Cabo Verde).

2.2 Geologia

O arquipélago de Cabo Verde é na sua totalidade de origem vulcânica, estando localizado no bordo Sudoeste da denominada plataforma senegalesa, a Oeste da zona magnética calma do fundo do Oceano Atlântico e a cerca de 2000 km a Leste da localização actual do *rift* médio atlântico (Serralheiro, 1976). O arquipélago assenta sobre uma elevação do fundo oceânico em forma de domo "Cape Verde Rise", de cerca de 400 km de diâmetro e a 3000 m de profundidade, correspondendo as ilhas aos extremos de edifícios vulcânicos situados sobre o domo (Fig. 2.3). Um domo destas dimensões, deve-se certamente a uma importante anomalia, possivelmente relacionada com a descompressão generalizada, e que mais tarde produziria a fusão parcial do manto, originando assim as erupções que teriam formado as ilhas.

Nas margens do arquipélago, encontram-se rochas formadas em ambiente continental (sienitos nefelínicos e carbonatitos) que poderiam mostrar uma certa influência de características continentais no magmatismo de Cabo Verde. Mas as características isotópicas das lavas não deixam qualquer dúvida quanto à sua origem oceânica. Também as camadas subjacentes do arquipélago são de formação oceânica, apresentando uma depressão na descontinuidade de Mohorovicic, devida à acumulação de material vulcânico na zona (Klerkx & De Paepe, 1976).

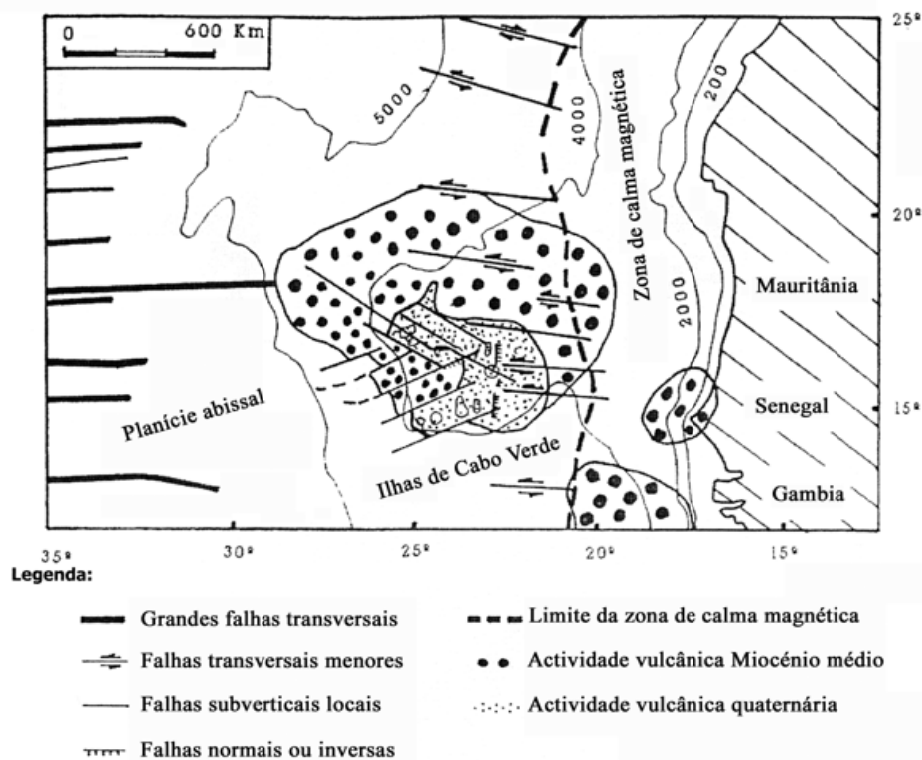


Fig. 2.3. Localização geotectónica do arquipélago de Cabo Verde (Knipper *et al.*, 1990).

A atribuição de uma idade à actividade vulcânica que originou as ilhas de Cabo Verde tem criado algumas dificuldades, uma vez que não se verifica concordância entre os estudos de datação isotópica e os dados vulcano-estratigráficos. Segundo Rigassi (1975), Serralheiro (1976) e Matos Alves *et al.* (1979), as rochas mais antigas do arquipélago são os basaltos de composição toleítica de idade mesozóica (Jurássico Superior) que se encontram em depósitos de "pillow lavas" localizados na ilha de Maio. Também se pode constatar a ocorrência de vulcanismo da época terciária, de características fortemente alcalinizadas. As mudanças de magmatismo toleítico a alcalino terão sido produzidas devido a mudanças geotectónicas ocorridas no arquipélago.

Vários autores relacionam normalmente o vulcanismo alcalino em áreas oceânicas e de "rift" com estruturas transversais, enquanto que o magmatismo toleítico é caracterizado nas estruturas axiais (dorsais oceânicas). Klerkx & De Paepe (1976) sustentam que tanto o aparecimento de rochas basálticas alcalinas em Cabo Verde quanto o de basaltos toleíticos da dorsal oceânica (MORB), são devidos à formação de importantes falhas transversais nesta zona do Atlântico em que se encontra o arquipélago.

A ilha de Santiago, aliás à semelhança de todo o arquipélago, é constituída quase exclusivamente por morfologias, estruturas e rochas basálticas de origem vulcânica, que foram derramadas por uma cratera principal que ocupa o local do maciço do Pico da Antónia. O edifício principal da ilha foi-se formando em diversas fases, que alternavam com períodos de maior acalmia

na actividade vulcânica, tendo levado bastante tempo a atingir a sua maior altura. Segundo Serralheiro (1976), verifica-se que enquanto as erupções continuavam em um e outro lado da ilha, a erosão escavava os vales nos mantos das séries mais antigas, mais tarde preenchidos pelos derrames provenientes da reactivação do vulcanismo. A própria forma assimétrica da ilha sugere migração da actividade vulcânica ao longo dos tempos.

As rochas eruptivas que constituem a maioria da parte emersa da ilha condicionam a sua morfologia, enquanto as formações sedimentares ocupam áreas muito pequenas e, apesar de terem muita importância, sobretudo as marinhas pelo facto de conterem fósseis, não constituem componente essencial na geologia da ilha. Quanto às rochas metamórficas, pode dizer-se que quase não existem. A sua presença, quando perceptível, restringe-se a formações onde podem detectar-se acções muito ligeiras de metamorfismo de contacto, sem importância no contexto geológico (Serralheiro, 1976).

A carta geológica na escala 1:25 000 da ilha de Santiago é constituída por doze folhas e foi elaborada por Serralheiro (1976). Este autor estabeleceu a sequência vulcano-estratigráfica da ilha de Santiago, que tem servido de base à grande maioria dos estudos geológicos e hidrogeológicos que se têm realizado nesta ilha. O mesmo autor publicou a carta geológica na escala 1:100 000 da ilha de Santiago (Serralheiro, 1977) (Fig. 2.4), a partir da redução e compilação das cartas geológicas na escala 1:25 000 desta ilha. Após a publicação da carta geológica na escala 1:100 000, Matos Alves *et al.* (1979) apresentaram um estudo geológico-petroológico e vulcanológico da ilha de Santiago, enquadrado no do arquipélago e em comparação com dados das outras ilhas.

2.2.1 Sequência vulcano-estratigráfica

A descrição das principais formações e acontecimentos geológicos na ilha de Santiago é feita neste trabalho, de forma sucinta, e de acordo com a sua posição estratigráfica (das mais antigas para as mais recentes), seguindo a sequência vulcano-estratigráfica e as caracterizações propostas por Serralheiro (1976) e Matos Alves *et al.* (1979).

Formações Eruptivas:	I	Complexo eruptivo interno antigo
	II	Conglomerados ante-Formação dos Flamengos
	III	Formação dos Flamengos
	IV	Formação dos Órgãos
	V	Formação lávica pós-Formação dos Órgãos
	VI	Sedimentos posteriores à Formação dos Órgãos e anteriores às lavas submarinas inferiores (LRi) do Complexo eruptivo do Pico da Antónia
	VII	Complexo eruptivo do Pico da Antónia
	VIII	Formação da Assomada
	IX	Formação do Monte das Vacas
Formações Sedimentares:	X	Formações sedimentares recentes de idade quaternária

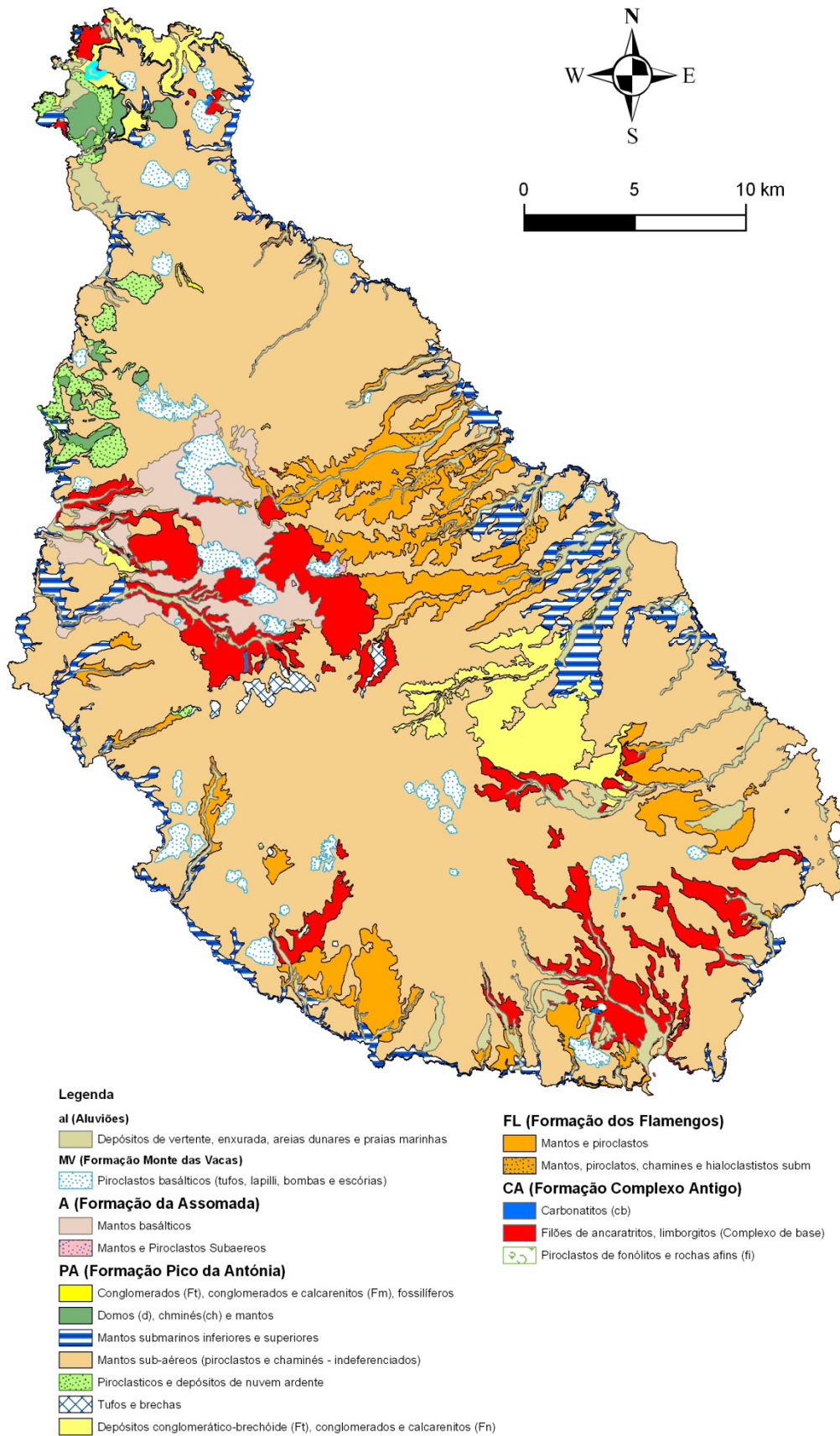


Fig. 2.4. Carta Geológica da Ilha de Santiago, Cabo Verde, digitalizada a partir de Serralheiro (1977).

2.2.1.1 Formações eruptivas

As rochas eruptivas de Santiago distribuem-se por vários tipos e formações geológicas de idades muito diferentes. As mais antigas encontram-se em áreas desnudadas, na maioria dos casos nos leitos das ribeiras.

As rochas afaníticas ocupam a maior parte da ilha e as faneríticas pequenas áreas. De entre as primeiras os produtos de origem explosiva têm importância reduzida, formando os derrames a maior parte da ilha. Os filões encontram-se um pouco por todo o lado, mas é na formação mais antiga que eles se contam por milhares. O edifício vulcânico que constitui a ilha, no conjunto, é formado quase exclusivamente por extrusões submarinas (explosivas e, principalmente, efusivas) (Serralheiro, 1976).

- **Complexo eruptivo interno antigo (CA)**

Esta designação corresponde às formações das rochas mais antigas da parte actualmente emersa da ilha (fundamentalmente filões básicos e fono-traquitos, e algumas intrusões de rochas granulares silicatadas). É uma unidade geológica que, pelo seu significado, se reveste de grande importância, pois é a unidade que corresponde aos primeiros derrames do vulcão (Serralheiro, 1976). Esta unidade do CA, embora muito retalhada, constitui uma grande mancha que as principais ribeiras apenas vão colocando a descoberto (Fig. 2.5).

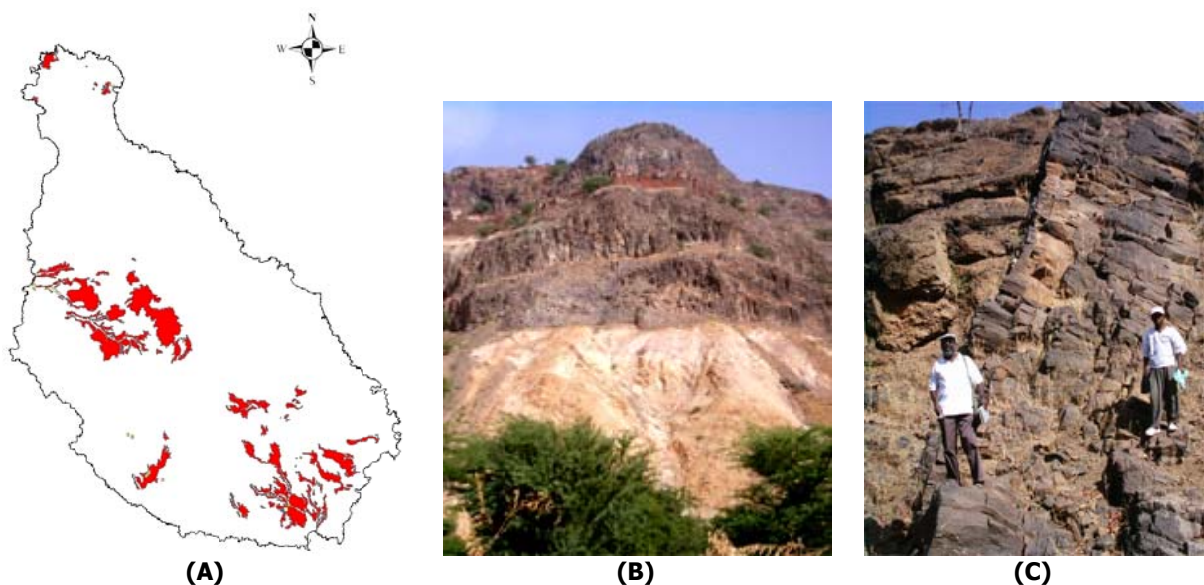


Fig. 2.5. Localização da formação do Complexo eruptivo interno antigo (CA) (A) e fotografias de afloramentos da formação do CA na Ribeira de Charco sob o Pico da Antónia (B) e do complexo filoniano que ocupa a quase totalidade das manchas do CA (C).

A formação do CA é bem visível em diversas partes da ilha de Santiago, em particular na zona centro Oeste, nas localidades de Sansão, Covão Grande, Achada Gregório, Engenho e Ribeira de Sedeguma, localizadas numa grande depressão planáltica (500 m) entre o Pico da Antónia (1 392 m) e a Serra Malagueta (1 063 m) (Fig. 2.5). A existência, a altitudes elevadas, de afloramentos de CA - considerando que o mesmo é constituído quase essencialmente por filões verticais e subverticais - indica que o crescimento da ilha, que inicialmente teria sido central, passou a ser também periférico. Na zona Sul e Sudeste da ilha de Santiago, os afloramentos do CA são visíveis nas localidades de Achadinha, Vila Nova e S. Francisco de Baixo.

Em todas as áreas onde há afloramentos do CA, a característica dominante é a rede densa de filões basálticos que destruíram quase por completo as características morfológicas dos derrames, quer submarinos quer subaéreos. São também visíveis algumas intrusões das rochas granulares (rochas gabróicas, sienitóides e carbonatíticas), muito alteradas à superfície, e cuja importância morfológica é praticamente nula.

Estas características das formações geológicas que constituem o CA, contribuem para a sua reduzida permeabilidade e produtividade, implicando que tenha um reduzido interesse hidrogeológico.

- **Conglomerados ante-Formação dos Flamengos**

São formações conglomeráticas que repousam sobre a Formação do Complexo eruptivo interno antigo, por vezes muito semelhante à Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$). A sua observação na ilha nem sempre é fácil, podendo ser observada, pontualmente, na ribeira de São Martinho Grande, onde o depósito começa por leitos finos, passando superiormente a sedimentos grosseiros - e noutros locais, como na Vila Nova e Paiol Velho (Matos Alves *et al.*, 1979).

Os afloramentos de conglomerado encontram-se em vários locais do Sul da ilha, mas a sua expressão cartográfica é pouco expressiva. Não existem notas de interesse hidrogeológico sobre esta formação.

- **Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$)**

Esta formação encontra-se em discordância sobre a formação do Complexo eruptivo interno antigo, correspondendo a mantos, brechas e piroclastos, básicos, de grande uniformidade e extensão, de natureza submarina. Embora exista o convencimento de que tenha ocorrido vulcanismo subaéreo síncrono com aquela actividade, não foi possível encontrar os seus testemunhos, provavelmente encobertos pelos grandes empilhamentos lávicos da série do Pico da Antónia (Matos Alves *et al.*, 1979).

Os afloramentos desta formação encontram-se bem distribuídos pela ilha, exceptuando-se a parte Norte. Estão localizados na vertente Oeste na ribeira do Linho, a Sudoeste nas localidades

de S. João Baptista, Achada Cerrado e ribeira de Angra, a Sul, na Cidade Velha e Saco, a Sudeste na Praia Formosa e N.^a Senhora da Luz e a Nordeste, onde se encontra melhor representada, os seus afloramentos estão localizados nas ribeiras de S. Miguel, Flamengos, Aguada, Santa Cruz, Boaventura, Picos e na localidade de Mato Limão. De realçar que estes afloramentos ocorrem principalmente nos vales das ribeiras (Fig. 2.6).

Em alguns vales, a intensa intrusão de diques afecta esta formação, chegando a constituir quase 100% da rocha. Associados a estes diques estão as cristalizações de aragonite, em agregados fibroso-radiais, que também se encontram nas brechas piroclásticas desta formação.

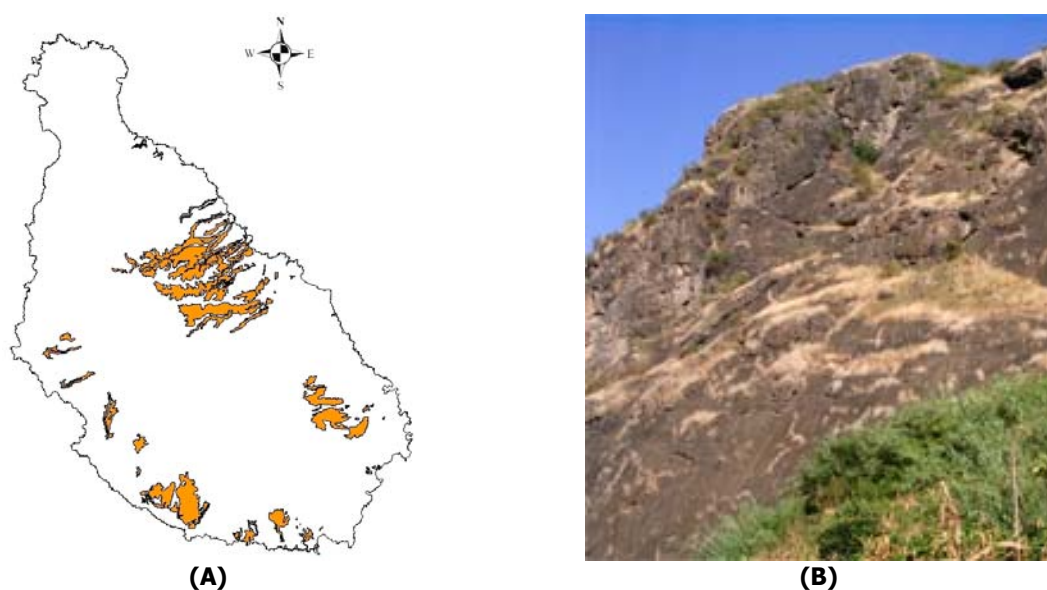


Fig. 2.6. Localização da Formação dos Flamengos (λρ) (A) e fotografia da mesma formação na zona de Boa Entradinha (B).

Deve notar-se que as lavas submarinas afloram desde zonas costeiras até altitudes elevadas, como se pode constatar na zona Este da ilha, nas localidades de Mato Limão (350 m) e Boaventura (380 m), e no lado Oeste, na ribeira do Linho (410 m). Em observações de campo, a forma mais prática de distinguir as lavas submarinas recentes das que correspondem à Formação dos Flamengos é que estas se situam a cotas superiores a 250 m, ao passo que as recentes surgem junto à costa.

Do ponto de vista hidrogeológico, a Formação dos Flamengos tem produtividade relativamente baixa, exceptuando as zonas onde predominam as pillow lavas, que dão origem a caudais de exploração acima da média (20 m³/h).

- **Formação dos Órgãos (CB)**

É uma formação constituída basicamente por blocos muito espessos, angulosos, sub-angulosos e arredondados de natureza basáltica (e, em menor quantidade, fonolítica) e que deverão resultar de fenómenos secundários de vulcanismo.

De salientar que esta formação corresponde a uma fase de acentuada pausa da actividade vulcânica, em que os fenómenos de erosão assumem grande importância. É, por isso, uma formação muito heterogénea, que inclui intercalações arenosas e puramente conglomeráticas e também alguns (embora escassos) episódios lávicos. Estes depósitos, quer terrestres quer marinhos, podem atingir espessuras superiores a 100 m e apresentam-se, por vezes, muito vulneráveis à erosão. Há ainda grandes áreas desta formação recobertas pelas escoadas das séries posteriores.

Na ilha de Santiago, esta formação encontra-se bem representada, na região Sudeste, mais precisamente em S. Jorge dos Órgãos, e ainda com pouca expressão na zona Norte e Oeste da ilha (Fig. 2.7). Devido ao seu elevado grau de compactação, esta formação tem normalmente um reduzido interesse hidrogeológico, exceptuando nas zonas onde existem cones de piroclastos e elevado número de filões.

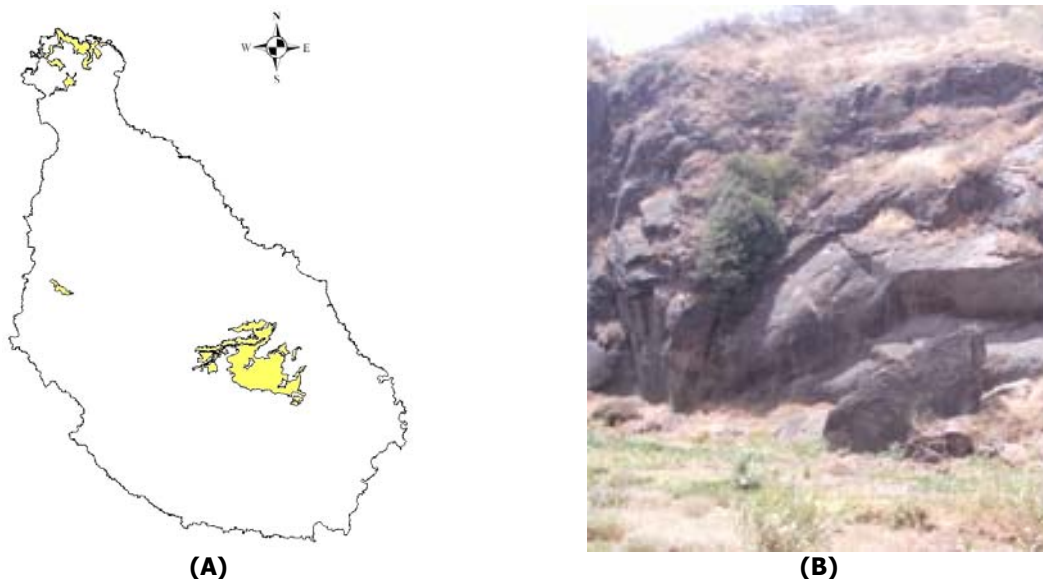


Fig. 2.7. Localização da Formação dos Órgãos (CB) (A) e fotografia da formação na zona de São Jorge dos Órgãos (B).

- **Formação lávica pós-Formação dos Órgãos**

Esta formação corresponde à fase traquítica pós-Formação dos Órgãos e pode ser observada no Monte Branco, situado a menos de 1,5 km a Oeste de Belém, entre duas linhas de

água tributárias da ribeira de S. João. O Monte Branco é um doma endógeno de natureza traquítica que está bastante desmantelado (Serralheiro, 1976).

No pequeno prolongamento para Sul, único local onde se mantém a brecha de crescimento, podem observar-se as relações do doma com as rochas circundantes, cortando e metamorfizando as lavas submarinas antigas e os sedimentos da Formação dos Flamengos e os depósitos da Formação do Complexo eruptivo interno antigo, mas não atravessando os derrames da série do Pico da Antónia.

A representação geológica desta formação é pouco expressiva e sob o ponto de vista hidrogeológico não há qualquer registo digno de realce.

- **Sedimentos posteriores à Formação dos Órgãos e anteriores às lavas submarinas inferiores (LRi) do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia.**

São caracterizados por pequenos afloramentos de rochas sedimentares, constituídos por calcarenitosossilíferos e conglomerados e que normalmente não são cartografáveis na carta geológica na escala 1:100 000. Estas formações podem ser encontradas na parte Sul da ilha, nas localidades do Monte Vermelho e Achada de Baixo.

A representação geológica é, pois, pouco expressiva, não tendo também grande importância do ponto de vista hidrogeológico à escala da ilha.

- **Complexo eruptivo do Pico da Antónia (PA)**

A formação do Complexo eruptivo do Pico da Antónia tem grande importância já que depois do Complexo eruptivo interno antigo, este é o mais desenvolvido complexo vulcânico na ilha de Santiago, quer na duração, quer no volume dos materiais emitidos, representando mais de metade da superfície da ilha de Santiago (Matos Alves *et al.*, 1979) (Fig. 2.8). É responsável não só pelos relevos de maiores altitudes, como também pelas principais plataformas estruturais que se observam na ilha.

Dentro da designação PA, incluem-se os produtos das actividades explosivas e efusivas, quer subaéreas, quer submarinas, que tiveram lugar em épocas diferentes (Serralheiro, 1976). As primeiras manifestações do PA assentam, sobretudo no lado Este da ilha de Santiago, sobre as Formações dos Órgãos e dos Flamengos, e mais raramente sobre o Complexo eruptivo interno antigo, quer com escoadas subaéreas, quer com submarinas. No entanto, as fácies submarinas podem ser consideradas quase manifestações periféricas quando comparadas com a extensão dos mantos subaéreos.

No decurso dos períodos vulcânicos correspondentes à formação das diferentes séries do PA é possível identificar acontecimentos sedimentares que se encontram intercalados nos episódios magmáticos, mas torna-se difícil a reconstituição em detalhe das diferentes fases da sua formação,

sendo praticamente impossível separar séries de derrames provenientes de fases eruptivas diferentes.

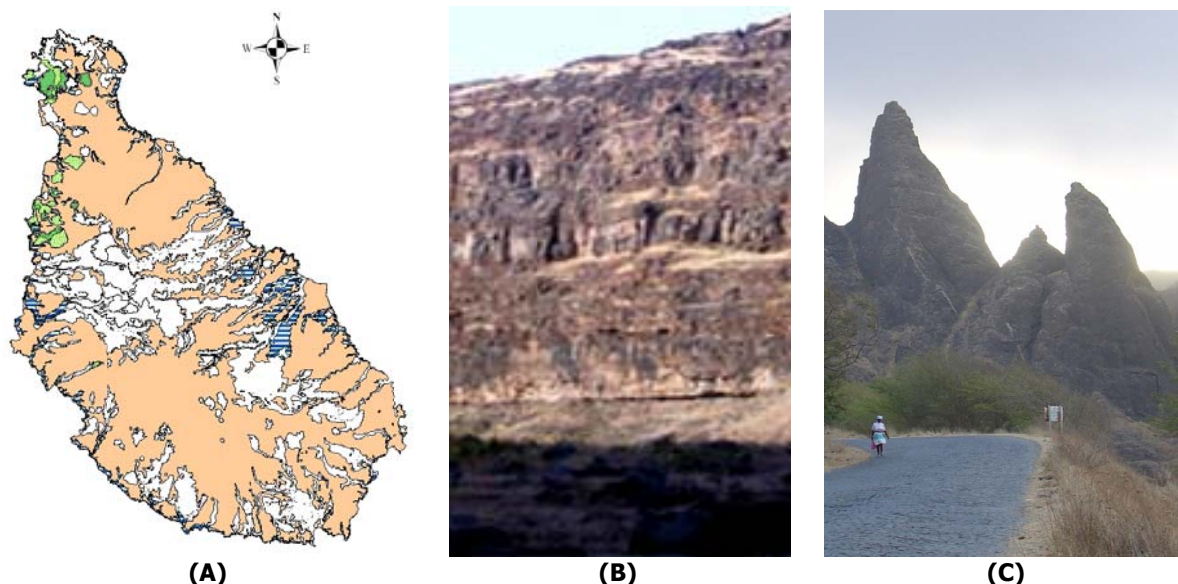


Fig. 2.8. Localização da Formação do Pico da Antónia (PA) (A) e fotografias da fase sub-aérea do PA na zona de Santa Clara (B) e da acção da erosão na formação do PA (C).

Segundo Serralheiro (1976) a estratigrafia do Complexo eruptivo do Pico da Antónia, se bem que incompleta, pode dividir-se em grandes unidades que se encontram resumidas na Tabela 2.2, reconhecendo-se dentro e entre elas superfícies de erosão.

Tabela 2.2. Estratigrafia do Complexo eruptivo do Pico da Antónia segundo Serralheiro (1976).

Fácies Terrestre		Fácies Submarina	
E	Piroclastos e escoadas intercaladas		
D	Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados		
C	Tufo-brecha		
B	Fonólitos e traquitos		
A	Séries espessas, essencialmente de mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados.	As	Mantos submarinos superiores
		Ai	Mantos submarinos inferiores

Segundo Vailloux *et al.* (1974), os relevos residuais que emergem dos grandes depósitos do Miocénico, no Sul e no Sudeste da ilha, como por exemplo o Monte Ilhéu, de S. Filipe, Praia Baixo, Praia Formosa, e os vazamentos inferiores do Monte Negro, são o resultado da fase de actividade vulcânica mais antiga. Durante essa fase, ter-se-iam instalado os depósitos sedimentares, sobretudo aluviões, intercalados nos mantos subaéreos, e os depósitos fonolíticos do Noroeste da ilha. Esta fase teria sido intercalada e seguida de um período de erosão

importante, após o que houve imersão, pelo menos parcial, da ilha, no decurso da qual aparecem as emissões submarinas do LRi .

Na zona Este da ilha, cortada por importantes ribeiras como são as de São Miguel e Seca, um grande número de centros de emissão depositaram formações submarinas. A situação repete-se, embora em menor escala, quando observamos a zona Oeste da ilha. Perto destes centros, os piroclastos e particularmente os tufos, são os mais abundantes. A dispersão dos centros de emissão deve ser a regra geral para o conjunto da ilha, rodeada quase totalmente por estas formações submarinas.

Certos afloramentos, cartografados como os da série dos Flamengos, no Nordeste da ilha (nas ribeiras dos Picos e de S. Miguel), parecem estar relacionados com a formação do LRi, tendo em conta o seu estado de conservação, no seu aspecto geral muito vacuolares que lhe confere características hidrogeológicas de elevadas produtividade. A fase intermédia de formação do PA começaria de novo por uma fase explosiva importante, mas com uma actividade mais localizada no centro da ilha, formando impressionantes depósitos de tufos (LRi ?).

Seguidamente sobrepõe-se a principal sucessão de camadas, em geral espessas, com brechas, piroclastos e alguns produtos de alteração e de sedimentação intercalados. As espessas formações do Pico de Antónia e da Serra Malagueta correspondem a esta fase. Uma segunda série de vazamentos submarinos, LRs, intercalados na série intermédia traduz a grande instabilidade que prevalece no Miocénico. Esta fase termina por uma retoma importante dos episódios explosivos.

Na ilha de Santiago, a série antiga (LRi) da formação do Pico da Antónia é bem marcada por fracturas, lavas e tufos de porosidade relativamente elevada que, por este motivo, constituem os melhores aquíferos da ilha.

• **Formação da Assomada (A)**

Esta formação surge após prolongado período de acalmia vulcânica, conseqüentemente de actividade erosiva importante, e corresponde a um novo período eruptivo, exclusivamente sub-aéreo, que se traduz pela emissão de escoadas de lavas de fácies basáltica e escassos piroclastos, que vêm repousar em discordância sobre os derrames do Complexo eruptivo do Pico da Antónia (PA) (Matos Alves *et al.*, 1979).

Do ponto de vista hidrogeológico, a Formação da Assomada tem características comuns com os depósitos recentes da Formação do Pico da Antónia, formados também por lavas e tufos, que por vezes são caracterizados por serem bons aquíferos.

Na ilha, a Formação da Assomada está bem localizada na região centro-Oeste, onde as lavas formam extensos derrames quase horizontais entre os maciços do Pico da Antónia e da Serra

Malagueta, nas localidades de Achada Falcão, Fundura, Ribeira da Barca e Charco, formando o planalto da Assomada (Fig. 2.9).

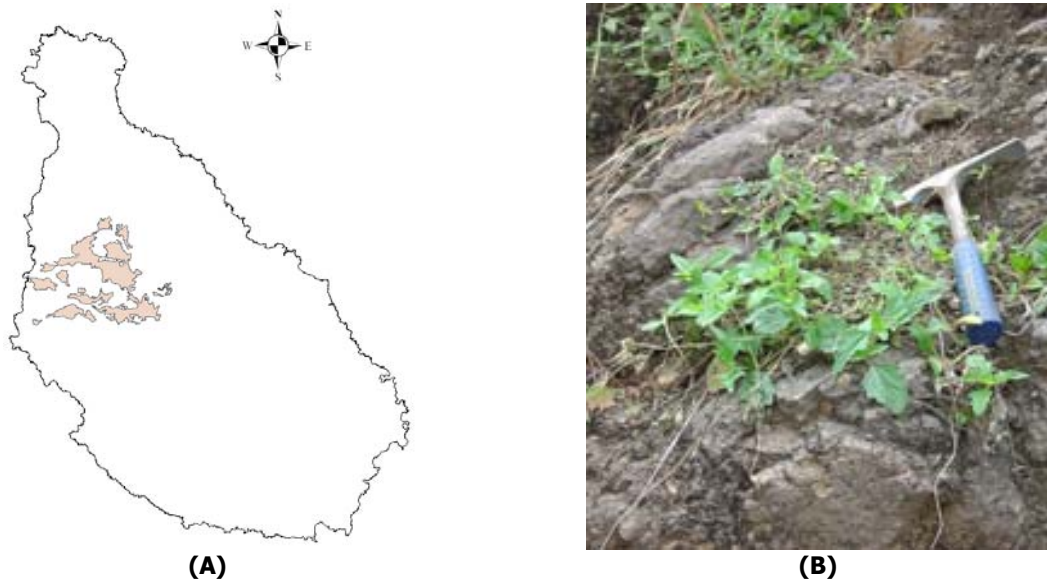


Fig. 2.9. Localização da Formação da Assomada (A) e fotografia de um afloramento da formação (B).

- **Formação do Monte das Vacas (MV)**

Caracteriza-se por ser a última, logo mais recente, manifestação vulcânica da ilha de Santiago, sendo constituída por materiais muito porosos de cones de piroclastos basálticos (tufos, bagacina, bombas e escórias) e pequenos derrames que se encontram espalhados pela ilha (Fig. 2.10). Os maiores cones da ilha são o Monte Volta (230 m) e o Monte das Vacas (200 m).

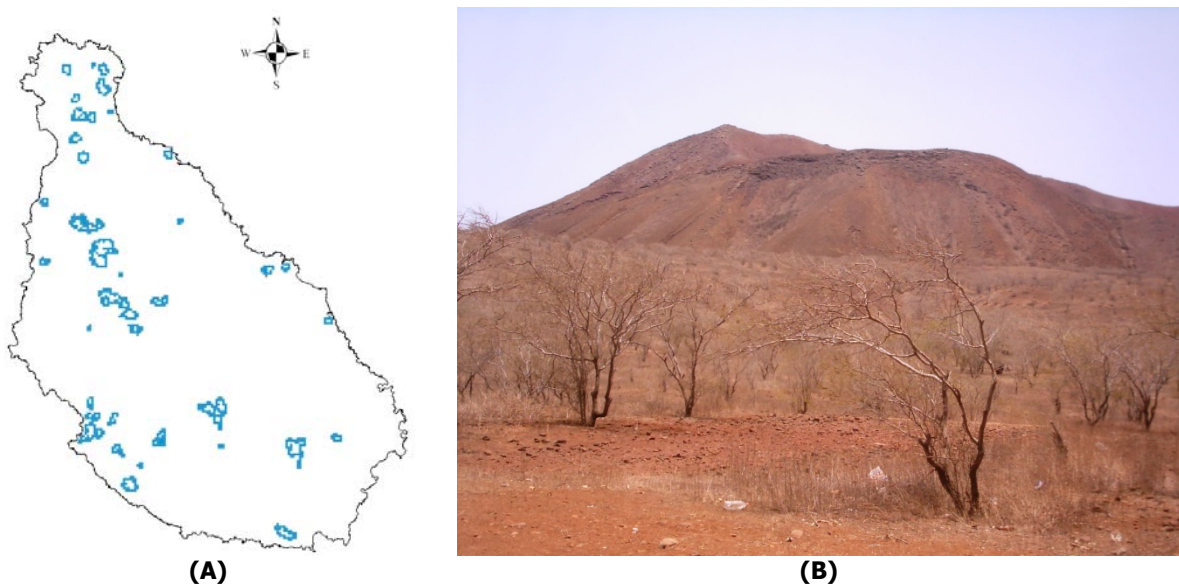


Fig. 2.10. Localização da Formação do Monte das Vacas (MV) (A) e fotografia do Monte das Vacas (B).

Esta formação tem um potencial de exploração de água subterrânea quase desprezível, devido à sua reduzida espessura. Tem, porém, certa importância hidrogeológica, já que desempenha o papel de formação drenante recarregando o PA.

2.2.1.2 Formações sedimentares recentes de idade quaternária (a, e, d, dv, c, casc)

Na ilha de Santiago abundam as formações de idade Quaternária, terrestres e marinhas: antigas e modernas aluviões, formando ou não terraços, depósitos de vertente, de enxurrada, areias dunares e praias marinhas em vários níveis até 100 metros de altitude (Serralheiro, 1976). Ocupam no total uma área de cerca de 83 km², o que corresponde a cerca de 8,5% da área emersa da ilha de Santiago.

Estas formações desempenham um papel importante do ponto de vista hidrogeológico, particularmente nos vales de grandes dimensões, como é o caso do vale da ribeira Seca e dos Picos, localizados na zona Este de Santiago e caracterizados por camadas de grande espessura (> 40 m) e com centenas de metros de extensão (Vaillieux *et al.*, 1974) (Fig. 2.11).

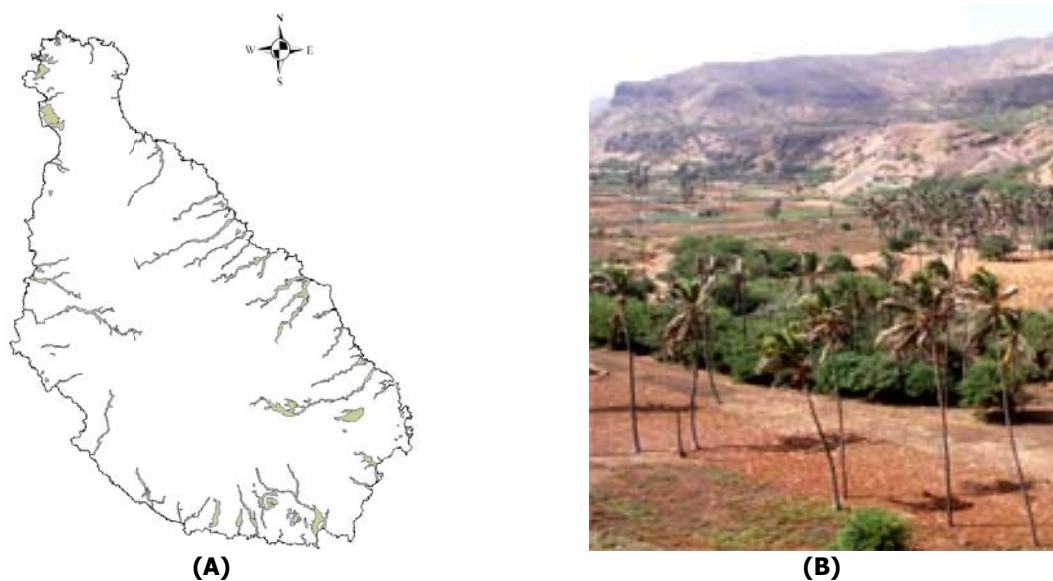


Fig. 2.11. Localização das Formações sedimentares recentes de idade quaternária (A) e fotografia destas formações no vale da ribeira da Achada Baleia (B).

Com base na topografia, cartografia geológica existente (cartas geológicas à escala 1:25 000), nos logs de sondagens realizadas para a prospecção de água e recorrendo a metodologia SIG, procedeu-se à preparação de três cortes geológicos interpretativos da ilha de Santiago, que permitiram uma melhor visualização da distribuição vertical e lateral das principais formações vulcano-sedimentares (Fig. 2.12, Fig. 2.13, Fig. 2.14).

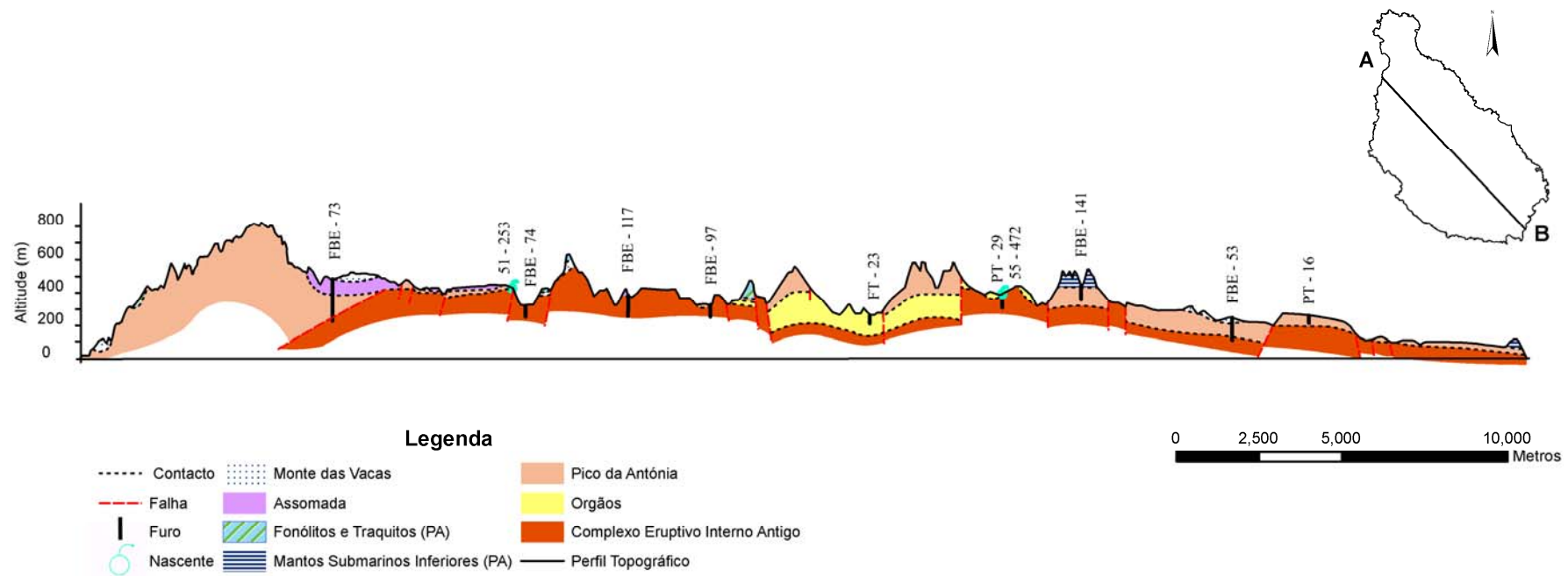


Fig. 2.12. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NW-SE).

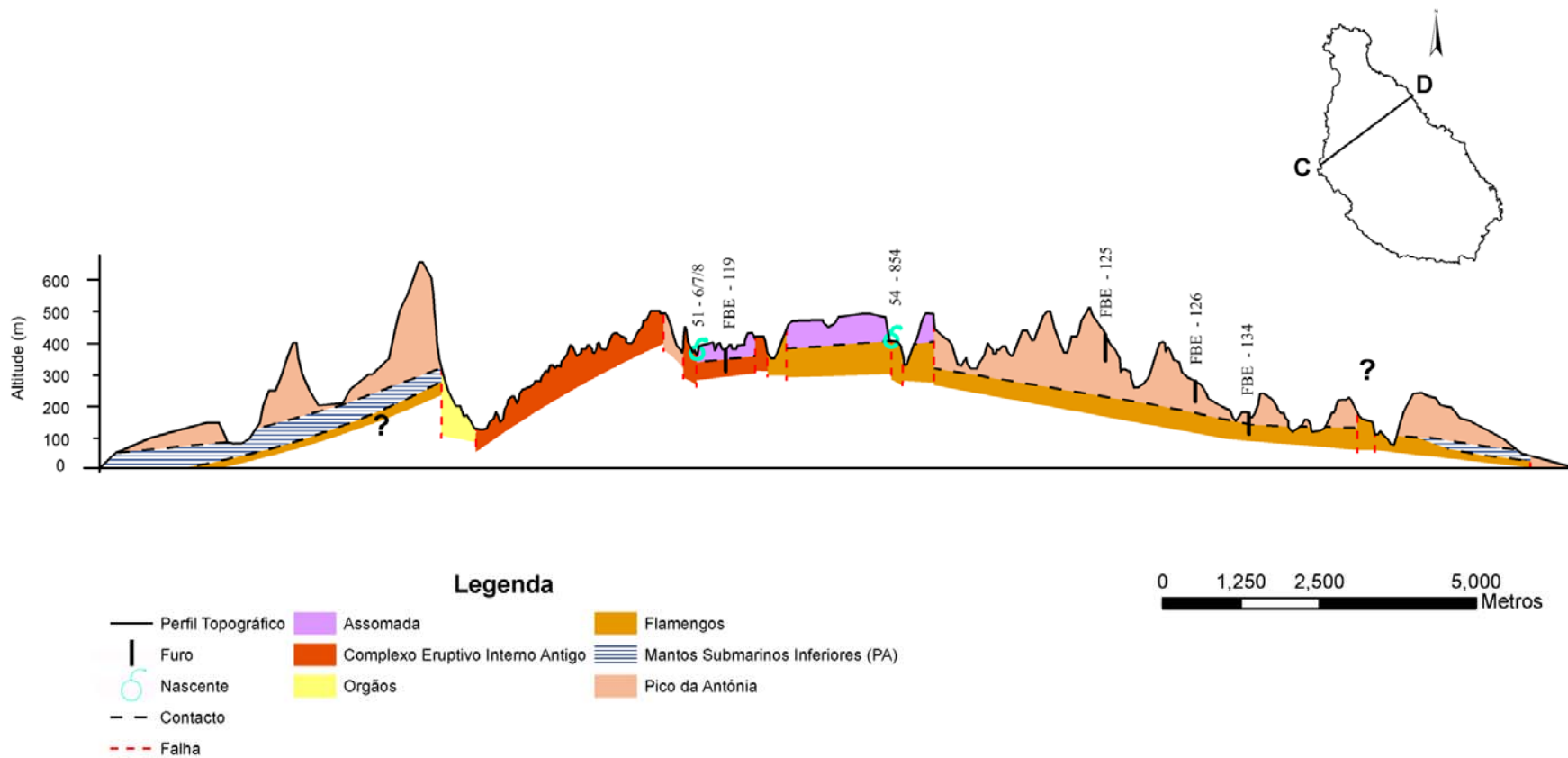


Fig. 2.13. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NE-SW).

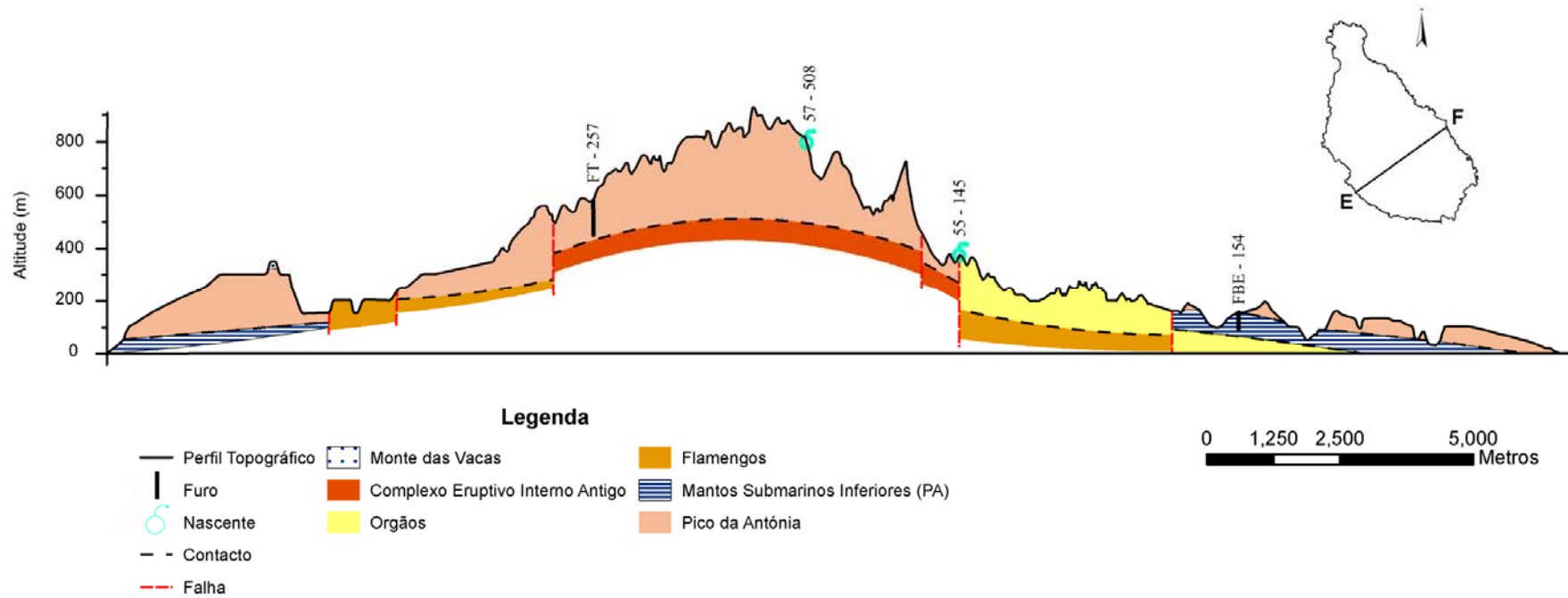


Fig. 2.14. Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NE-SW).

2.2.2 Principais associações mineralógicas

Estudos mineralógicos realizados por Serralheiro (1976), Matos Alves *et al.* (1979) e Martins (2003) utilizando a análise por difracção de raio-X revelam algumas semelhanças entre as principais associações mineralógicas das diferentes formações vulcânicas (Tabela 2.3).

Nas formações compostas essencialmente por basanitos, a composição mineralógica é geralmente abundante em olivina, piroxena e plagioclase e quantidades menores de óxidos de ferro e titânio. Nas formações compostas essencialmente por melanefelinitos, predominam feldspatóides (nefelina) junto com olivina, piroxena e óxidos de ferro e titânio.

Tabela 2.3. Principais associações mineralógicas existentes nas formações geológicas da ilha de Santiago (Martins, 2003)

		Formação geológica	Mineralogia
Formações Eruptivas	I	Complexo eruptivo interno antigo	Plagioclase cálcica, dolomite, (calcite), feldspato-k, biotite, anfíbola, piroxena (augite), olivina, zeólitos, feldspatóides (nefelina).
	II	Conglomerados ante-Formação dos Flamengos	
	III	Formação dos Flamengos	Basanitos: plagioclase, olivina, piroxena, plagioclase, feldspatóides (nefelina) e óxidos. Melanefelinitos: olivina, piroxena, feldspatóides (nefelina) e óxidos. Frequente a presença de xenólitos peridotíticos e gabróticos inclusos nas lavas. Lavas submarinas: carbonatos, idingsite, zeólitos, serpentina.
	IV	Formação dos Órgãos	
	V	Formação lávica pós-Formação dos Órgãos	
	VI	Sedimentos posteriores à Formação dos Órgãos e anteriores às lavas submarinas inferiores (LRi) do Complexo eruptivo do Pico da Antónia	
	VII	Complexo eruptivo do Pico da Antónia	Basanitos: olivina, piroxena, plagioclase e óxidos Melanefelinitos: olivina, piroxena, óxidos, mica, nefelina. Nefelinitos: piroxena, nefelina, óxidos. Frequente a presença de xenólitos peridotíticos e gabróticos inclusos nas lavas. Lavas submarinas: carbonatos, idingsite, zeólitos, serpentina.
	VIII	Formação da Assomada	Basanitos: olivina (por vezes muito alterada para idingsite), piroxena, plagioclase, óxidos. Melanefelinitos: olivina, piroxena, óxidos, mica, nefelina.
	IX	Formação do Monte das Vacas	Basanitos: olivina, piroxena e óxidos (titanomagnetites).
Formações Sedimentares	X	Formações sedimentares recentes de idade quaternária	Plagioclase, feldspato, magnetite/ maghemite, hematite.

2.2.3 Origem e processos de formação da ilha

As primeiras manifestações vulcânicas no arquipélago de Cabo Verde deram-se no Paleogénico e na ilha de Maio, cuja evolução se encontra representada na Fig. 2.15. Não é de admitir uma data muito posterior para Santiago.

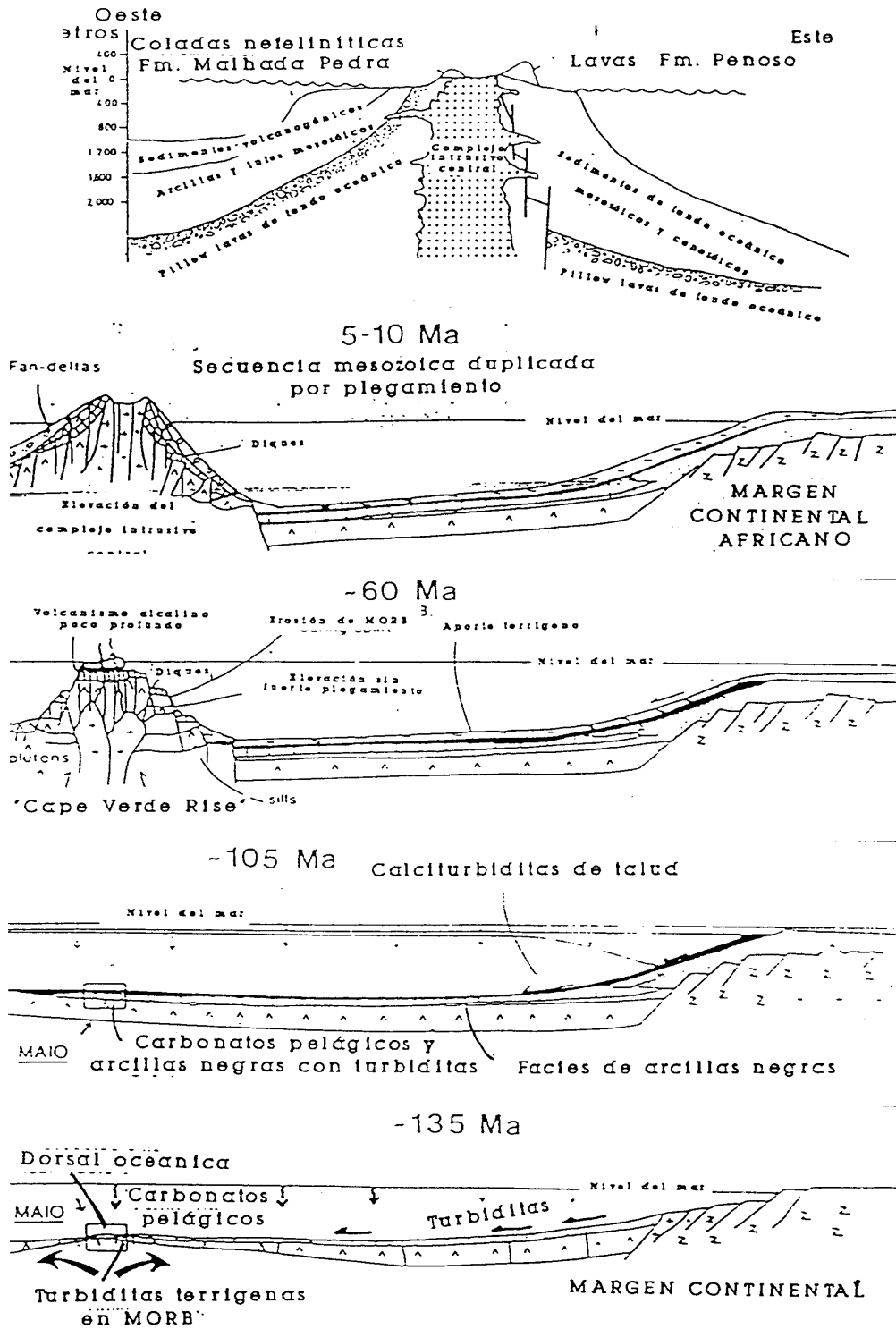


Fig. 2.15. Modelo de evolução da ilha do Maio segundo Stillman *et al.* (1982)

Esta actividade exclusivamente submarina quando extrusiva, teve três focos principais. Não se conhecem testemunhos indiscutíveis de construções vulcânicas extrusivas associadas aos afloramentos do Complexo eruptivo interno antigo. Resta-nos, apenas, a presença de calhaus rolados nos diferentes sedimentos de fácies terrestre (conglomerados antigos e CB), que dão indicações petrográficas (Serralheiro, 1976).

Os edifícios subaéreos relacionados com a actividade pré-Formação dos Flamengos ou foram totalmente destruídos, ou estão ocultos sob os derrames mais modernos. Os actuais afloramentos do CA devem corresponder, certamente, aos locais onde se situavam aqueles relevos residuais, que a erosão veio destruindo até à actualidade. Os derrames da Formação dos Flamengos contrastavam fortemente com os antigos, devido à frescura das suas lavas e, por esse motivo, foram mais rápida e facilmente arrasados. Os depósitos da Formação dos Órgãos, continentais e marinhos, marcam longo período de acalmia na actividade vulcânica, apesar de dois episódios eruptivos de curta duração.

A história geológica de Santiago, até esta altura, tem cinco fases importantes segundo Serralheiro (1976):

- **FASE 1: Paleogénico**

Erupções iniciais submarinas até que o edifício emergiu, passando a haver vulcanismo subaéreo. Desconhecem-se quais as formações e tipos petrográficos que lhes correspondem, havendo apenas o complexo eruptivo interno antigo como testemunho, em parte, dessas actividades.

- **FASE 2: Paleogénico – Neogénico (Oligocénico e início Miocénico inferior ?)**

Longa pausa na actividade vulcânica e intensa acção erosiva, com destruição dos aparelhos emersos. Formação de grandes depósitos submarinos correspondentes aos materiais desses edifícios.

- **FASE 3: Neogénico (Miocénico inferior).**

Transgressão marinha, que elevou o nível do mar acima da altitude de 450 m.

- **FASE 4: Neogénico (Miocénico médio).**

Intensa actividade ígnea com formação de extensos mantos, correspondente à Formação dos Flamengos, da qual actualmente só se conhece a fácies submarina.

- **FASE 5: Neogénico (Miocénico médio-superior).**

Regressão, mas até um nível não inferior a 250 m, associada a pausa na actividade ígnea, e com formação de espessos depósitos sedimentares de fácies terrestres e marinha (Formação dos Órgãos).

Em Santiago, repousando sobre as formações mais antigas, eruptivas e sedimentares, encontram-se os primeiros derrames do complexo eruptivo do Pico da Antónia. Neste complexo distinguem-se sub-unidades bem individualizadas, de fácies terrestre e submarina, separadas umas das outras por superfícies de erosão e/ou por sedimentos, fossilíferos quando marinhos. Não só houve pausas na actividade vulcânica geral, como também oscilações no nível do mar. Há grandes interrupções na actividade ígnea do PA, com formação de vales onde se depositaram aluviões espessas.

Durante os primeiros tempos de construção do grande edifício vulcânico, há mudança nos tipos petrográficos expelidos, com construção de vários domas endógenos de rochas mais saturadas (traquíticas e fonolíticas) do que as habituais, as quais se situam no lado Noroeste da ilha. A actividade básica recomeça e forma-se a parte mais alta da ilha, cobrindo os materiais anteriores, pelo menos na zona central.

Existe uma grande depressão, resultante de uma caldeira de erosão, que ocupa uma área praticamente igual, em configuração e superfície, à da situada na vertente Este da serra do Pico da Antónia onde anteriormente se depositaram os materiais da Formação dos Órgãos. Esta caldeira de erosão, da Assomada, situa-se entre as serras do Pico da Antónia, Palha Carga e a da Malagueta. Esta depressão, semelhante à que actualmente se desenvolve na zona de São Jorge dos Órgãos, por evolução avançada, destruiu progressivamente o bordo da mesma. Tal evolução levou ao isolamento da parte central da ilha, dos actuais relevos de Palha Carga e Brianda, no lado Oeste, e à serra da Malagueta, no lado setentrional. É evidente que o exagero das dimensões da caldeira, tal como se apresenta, fez perder as características de depressão fechada.

É preciso acrescentar à evolução da própria caldeira, a de outros acidentes vizinhos que, forçosamente, acabaram por imbricar-se e, como tal, destruir as características morfológicas típicas de tais bacias de erosão. A relativa conservação da caldeira, deve-se aos derrames da formação da Assomada, que evitaram o recuo rápido das suas paredes. Actualmente, e a partir das zonas fracas (contactos laterais das escoadas com os materiais antigos), verificou-se a instalação rápida de linhas de água na periferia daqueles derrames, com aprofundamento acentuado dos leitos, deixando em pedestal as lavas mais resistentes.

Os derrames da Assomada que ocuparam a depressão até ao mar, formam discordância com os mantos antigos daquelas serras. Como dito anteriormente, não se sabe em que época tiveram lugar aqueles derrames mais modernos, admitindo-se porém que possam ser contemporâneos de alguma das fases superiores do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia.

Segue-se nova pausa na actividade vulcânica e acentua-se a erosão com aprofundamento das depressões existentes. Antes da última fase vulcânica, seguiu-se um período de erosão-sedimentação generalizado, que durante o Plistocénico deu lugar a depósitos de praia e dunas,

chegando por vezes a atingir algumas dezenas de metros acima do nível do mar (Serralheiro, 1976) e (Matos Alves *et al.*, 1979).

Em períodos mais recentes, há a derradeira actividade vulcânica com formação por toda a ilha de numerosos cones adventícios de escórias e piroclastos. Há formação de sedimentos ligados aos movimentos eustáticos quaternários. Durante o Holocénico os depósitos terrestres generalizaram-se pela ilha, assim como os depósitos de areias de praias, não havendo registos de actividade vulcânica muito recente na ilha de Santiago.

2.3 Geomorfologia

O arquipélago de Cabo Verde, porque inserido nas regiões insulares de natureza vulcânica, apresenta no geral morfologias complexas, caracterizadas sobretudo pelas grandes altitudes, grandes pendentes de terreno, orografia acentuada e extensas achadas. Estas são as principais características geomorfológicas que marcam e determinam de forma significativa o modelo hidrológico da ilha, com particular ênfase na escorrência superficial e com incidência, também, na hidrodinâmica subterrânea.

Nas regiões insulares vulcânicas de pequena dimensão, a hidrodinâmica das águas subterrâneas é, em grande parte, condicionada pelas características geomorfológicas do terreno (Custodio, 1975). A orografia joga papel decisivo na vertente superficial do ciclo hidrológico das ilhas, contribuindo para a estruturação das redes de circulação da água e determinando o regime de escoamento (Meneses, 1977; Rodrigues, 1995; Azevedo, 1998). O declive e as características topográficas do terreno são os parâmetros morfológicos mais marcantes deste processo (Rodrigues, 1993; Fontes, 1999).

O relevo vulcânico, na multiplicidade de formas que assume, tem também grande influência na componente atmosférica do ciclo hidrológico insular, condicionando a circulação de massas de ar húmido marítimas e, conseqüentemente, marcando gradientes na precipitação e evapotranspiração (Rodrigues, 1995; Azevedo, 1998). Desempenham um papel relevante nestes processos, a amplitude e orientação dos estratocones, falésias e depressões topográficas proeminentes, como caldeiras, estruturas do tipo graben e vales erosivos.

Nos processos de recarga, têm especial relevância os parâmetros morfológicos que condicionam a infiltração, nomeadamente, a extensão territorial (Falkland & Custodio, 1991). Os processos de descarga são, por seu lado, marcados pela altitude do terreno, nomeadamente pelos grandes declives associados a escarpas de origem tectónica, erosiva ou mista (Rodrigues, 1993; Meneses, 1993), ou pelas frentes de escoada lávica.

2.3.1 Grandes unidades geomorfológicas

Sob o ponto de vista geomorfológico, definem-se na ilha de Santiago sete unidades principais (Fig. 2.16) (Marques, 1990):

- **I. Achadas Meridionais**

As Achadas Meridionais estão localizadas no sopé meridional do maciço do Pico da Antónia e descendo até ao mar, de uma altura de 500 metros até ao litoral, formando achadas com declives médios variando entre 2-12%. São superfícies estruturais e/ ou subestruturais, constituídas por escoadas basálticas, intercaladas de tufos, da formação do Pico da Antónia.

- **II. Maciço Montanhoso do Pico da Antónia**

O maciço montanhoso do Pico da Antónia localiza-se praticamente no terço central da ilha. É uma importante e acidentada área montanhosa que culmina no Pico da Antónia, aos 1392 m, fortemente erodida, de cimos recortados e pontiagudos, representando assim o relevo de maior altitude na ilha. Do ponto de vista geológico, o maciço é constituído quase só por formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia.

- **III. Planalto de Santa Catarina**

O planalto de Santa Catarina é limitado, a Norte e a Sul, pelos maciços montanhosos do Pico da Antónia e da Serra Malagueta. A Oeste ainda se destacam os relevos de Palha Carga, Monte Brianda e Pedroso, constituindo a região central da ilha de Santiago. Com cerca de 500 m de altitude, forma uma extensa área planáltica, por vezes interrompida por cones eruptivos que a erosão tem vindo a dismantelar.

- **IV. Flanco Oriental**

O Flanco Oriental da ilha, localizado entre Porto Formoso e Praia Baixo, é constituído pelas bacias hidrográficas das ribeiras de São Domingos, Praia Formosa, Seca, Picos, Santa Cruz, Salto, Flamengos e São Miguel. Trata-se de uma área exposta aos alísios que sopram de Outubro a Julho e cuja acção benéfica se começa a fazer sentir a partir dos 300 m de altitude. Intermitentemente, a "*lestada*" sopra com certa intensidade na região litoral baixa entre Outubro e Junho.

- **V. Maciço Montanhoso da Malagueta**

O maciço montanhoso da Malagueta, localizado no extremo Norte da superfície de Santa Catarina, culminando aos 1064 m, caracteriza-se por uma escarpa vigorosa, dissimétrica, e cuja linha de cimos desce suavemente para o Tarrafal e para o Oriente.

- **VI. Tarrafal**

A área do Tarrafal, localizada na ponta setentrional da ilha, caracteriza-se por "*achadas*" (Grande, Tomás, Bilim, etc.) escalonadas entre 20 e 300 m de altitude, com declives médios

compreendidos entre 2% e 5% e constituídas por formações do Pico da Antónia. A estrutura vulcânica mais imponente é a estrutura de fonólitos e traquitos do Monte Graciosa.

• **VII. Flanco Ocidental**

O Flanco Ocidental representa a transição entre o Planalto de Santa Catarina e o mar. Trata-se de uma região extremamente árida, muito declivosa, e que desce abruptamente para o mar. Os declives médios das encostas variam em geral entre 12% e 25% (Marques, 1987).

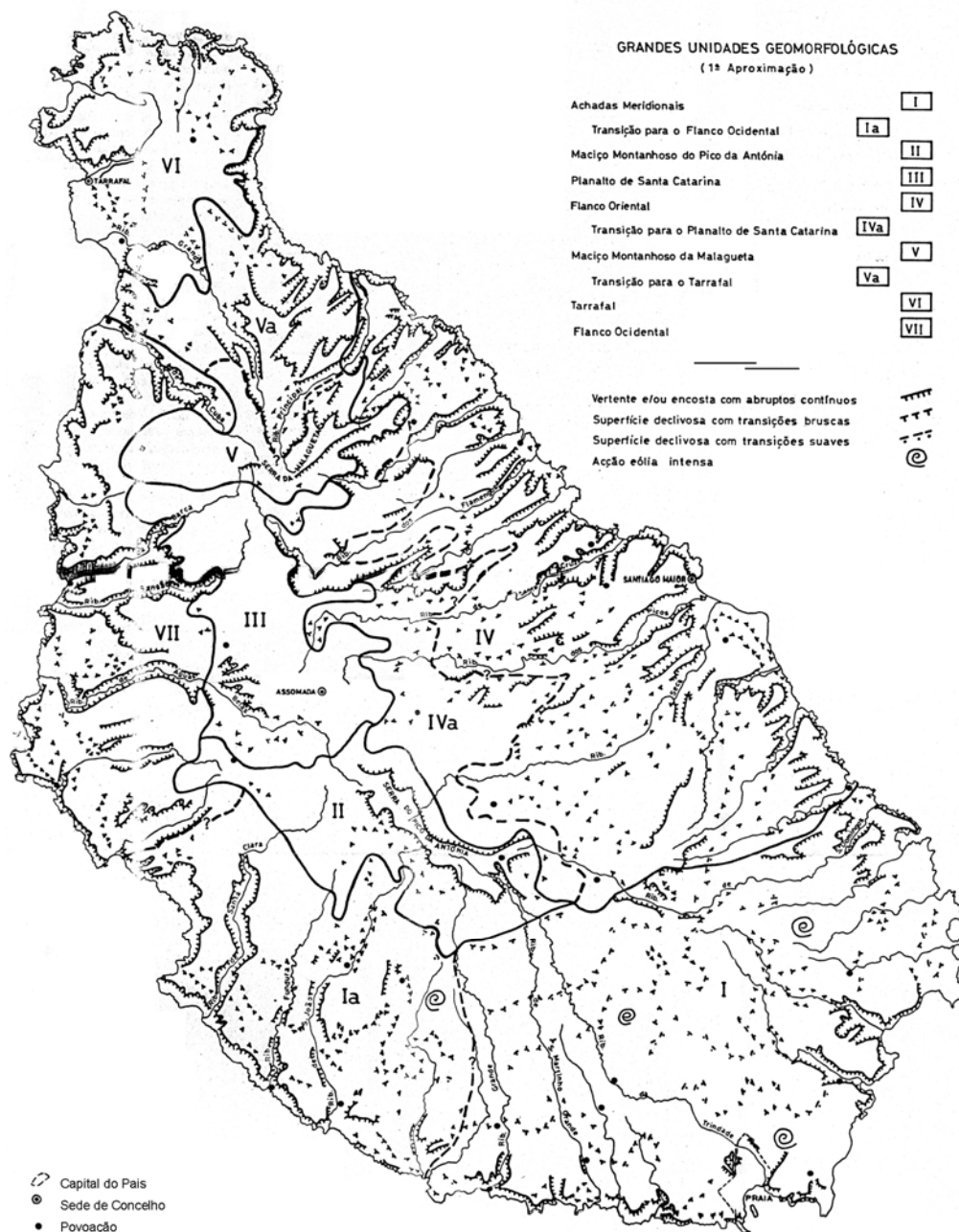


Fig. 2.16. Grandes unidades geomorfológicas da ilha de Santiago, segundo Marques (1990).

2.3.1.1 Achadas Meridionais

As Achadas Meridionais iniciam-se no sopé meridional do maciço Montanhoso do Pico da Antónia a cerca de 500 m de altitude e descem em degraus até ao mar. Geralmente apresentam-se como superfícies estruturais ou por vezes sub-estruturais que, neste caso, são constituídas por escoadas basálticas intercaladas com tufos, pertencentes ao Complexo eruptivo do Pico da Antónia. Alguns dos vales que cortam as achadas estão escavados nas formações do Complexo eruptivo interno antigo, que se encontram sob as formações do Complexo eruptivo do Pico da Antónia (Fig. 2.17).

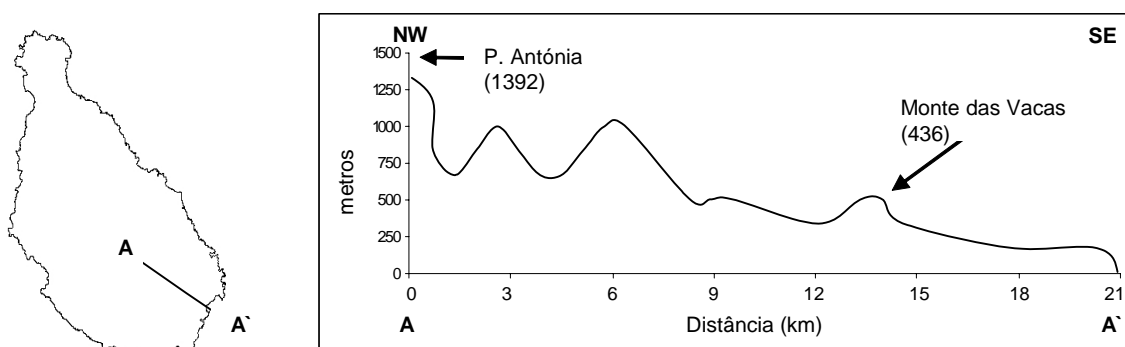


Fig. 2.17. Perfil topográfico das Achadas Meridionais elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.

Em função da altitude mais elevada e da franca exposição a Sudoeste (ventos quentes e húmidos) destaca-se a subunidade (Ia) (Fig. 2.16).

Os solos das Achadas Meridionais, são, na sua grande maioria, litossolos e solos litólicos. Existem, ainda, vertissolos em áreas reduzidas, chegadas ao litoral. As achadas possuem declives médios variando entre 2% e 12% na direcção do mar (Marques, 1983, 1987, 1990). Estão normalmente cobertas por material muito grosseiro derivado da desagregação *in situ* das escoadas lávicas e/ ou transportado por enxurradas. As achadas litorais (0-20 m, 20-50 m e 50-100 m de altitude) podem ainda conter material de antigas linhas de costa.

Esta unidade é geralmente caracterizada por chuvadas episódicas da «monção» de Sudoeste e/ ou a acção eólica do vento de Este ('*estada*'). Estas áreas são normalmente ocupadas por pastagens das regiões áridas. As referidas áreas têm sido objecto de intensas campanhas de arborização nos últimos vinte e cinco anos.

Localmente existem, sob o material grosseiro de cobertura, alguns solos barróides (vérticos), que parecem representar um episódio pedogenético abortado no Quaternário subactual (Marques, 1990). O material grosseiro que cobre os solos barróides preserva-os da erosão eólica.

Mas, por outro lado, o mesmo é um factor limitante para as culturas de sequeiro. Desta forma só as pastagens e a florestação poderão vingar nesta região árida.

As bacias hidrográficas mais importantes das Achadas Meridionais são as que constam da Tabela 2.4. Aqui se referem, pelo seu significado no processo de deslocação do material grosseiro, o declive médio da bacia e a sua altitude média (Marques, 1987).

Tabela 2.4. Principais bacias hidrográficas das Achadas Meridionais.

Bacias hidrográficas	Declive Médio (%)	Altitude Média (m)
Santa Clara	8,1	509,8
Fundura	9,2	360,6
São João	9,6	500,2
Caniço Grande	7,5	271,8
Grande (Cidade Velha)	6,8	379,9
São Martinho Grande	6,2	411,0
Trindade	4,7	242,4
São Francisco	3,4	148,1

Assim, verifica-se a partir da análise da Tabela 2.4, que dois terços das bacias hidrográficas têm altitudes superiores, por vezes muito superiores, à altitude média da ilha (278,5 m). Verifica-se também que o valor do declive médio das bacias é quase sempre elevado, o que se explica por as bacias terem as suas cabeceiras no Maciço do Pico da Antónia.

Nos fundos dos principais troços dos vales em canhão (ribeiras da Trindade, Grande, São João, etc.), existem pequenos regadios alimentados por água obtida de galerias e/ou de furos de captação. As nascentes são raras.

As Achadas Meridionais constituem actualmente um meio com tendência recente tanto para a pedogénese nas áreas florestadas (Achadas de São Filipe, Mosquito, etc.), como com tendência antiga para a morfogénese, nas áreas totalmente despidas de vegetação.

2.3.1.2 Maciço Montanhoso do Pico da Antónia

O Maciço Montanhoso do Pico da Antónia é uma importante e acidentada área montanhosa que culmina no Pico da Antónia, aos 1392 m (Fig. 2.18). Do ponto de vista geológico-litológico, o maciço é constituído quase só por formações do Complexo eruptivo do Pico da Antónia. São largamente dominantes os litossolos e os solos litólicos. Trata-se de uma unidade que representa a região meridional do bordo da última grande caldeira da ilha de Santiago (Serralheiro, 1976).



Fig. 2.18. Vista parcial do maciço do Pico de Antónia.

O maciço eleva-se a partir dos 600 m de altitude (Fig. 2.19) e continua um pouco para Noroeste constituindo o relevo de Palha Carga. Os relevos isolados de Monte Brianda e Pedroso podem ainda ser considerados como resíduos da antiga bordeira.

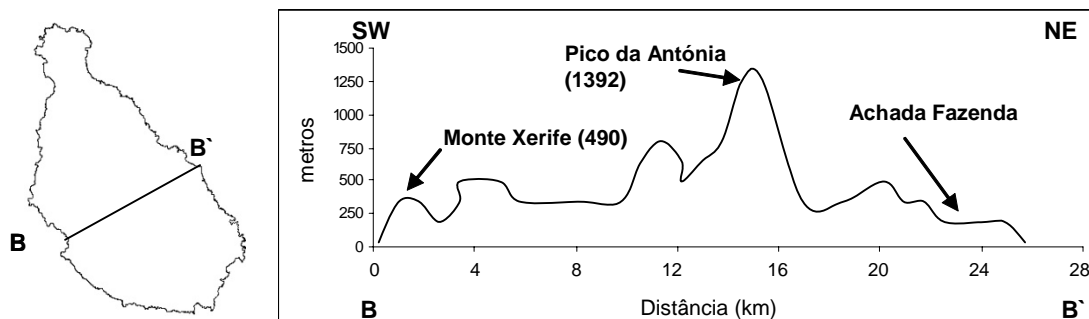


Fig. 2.19. Perfil topográfico do Maciço Montanhoso do Pico da Antónia, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.

As encostas meridionais, alcantiladas e áridas, estão sujeitas às chuvadas episódicas, violentas e abundantes, provocadas pela chamada monção do SW. As encostas Norte e Nordeste, viradas ao planalto de Santa Catarina, estão francamente sob o domínio dos alísios, principalmente de Novembro a Julho. Surgem, assim, pelos 800 m de altitude, as 'pastagens de altitude' (Teixeira & Barbosa, 1958), e, um pouco mais acima, o perímetro florestal.

Do ponto de vista geomorfológico, litológico e climático, o Maciço Montanhoso do Pico da Antónia pode comportar-se, conceptualmente, como um reservatório natural de água. Esta unidade geomorfológica, apesar da florestação de que foi alvo, continua a representar um meio em morfogénese, visto as formações brandas (tufos) dominantes no complexo litológico, profundamente meteorizadas, situarem-se em zonas fortemente declivosas (declives sempre superiores a 25%) onde a florestação integral é difícil. Daí a multiplicação de barrancos facilitada pela erosão diferencial.

2.3.1.3 Planalto de Santa Catarina

O Planalto de Santa Catarina constitui a região central da ilha de Santiago. É constituído por um conjunto de achadas compreendidas entre 400 e 600 m de altitude (Marques, 1985b). Esta unidade parece representar o fundo erodido da antiga caldeira do grande vulcão que deu origem ao conjunto litológico conhecido por Complexo Eruptivo do Pico da Antónia durante o Mio-Pliocénico (Serralheiro, 1976).

O planalto é limitado, respectivamente, a Norte e a Sul, pelos maciços montanhosos do Pico da Antónia e da Serra Malagueta (Fig. 2.20). A Oeste ainda se destacam os relevos de Palha Carga, Monte Brianda e Pedroso. A monotonia do planalto, em que os declives médios variam entre 2% e 12%, é interrompida por algumas estruturas vulcânicas da Formação do Monte das Vacas, tais como o Monte Jagau, Monte Felicote, entre outros. O planalto é cortado por alguns vales em canhão – bacias hidrográficas de Águas Belas e Sansão, no fundo dos quais existem regadios.

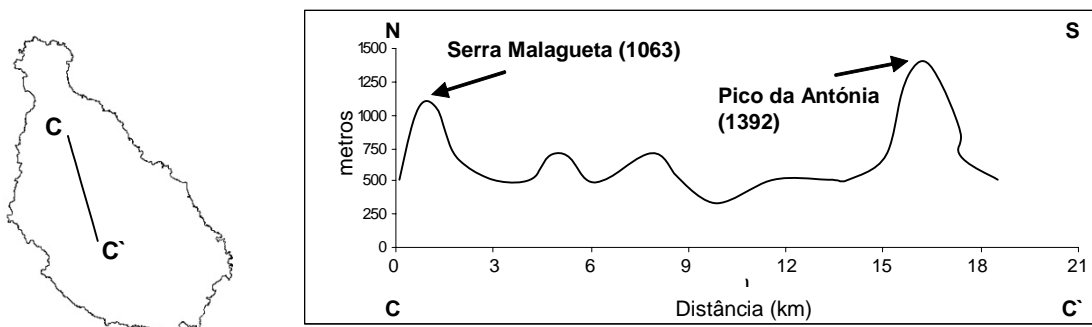


Fig. 2.20. Perfil topográfico do Planalto de Santa Catarina, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.

Esta unidade morfológica está submetida principalmente à dinâmica de meteorização provocada pela humidade transportada pelos alísios. Desta forma, as formações litológicas (tufos, brechas-tufos e escoadas) deram origem a solos – solos paraferalíticos e solos iso-húmicos

associados a vertissolos (Faria, 1970) – que são dos poucos que ainda se conservam intactos na ilha e nos quais as culturas de sequeiro são ainda rentáveis (Fig. 2.21).

No entanto, a área periférica do planalto, dada a desflorestação que este sofreu, está a ser atacada pela erosão regressiva das ribeiras que sulcam o flanco oriental da ilha e que têm as suas cabeceiras neste planalto. Além disso, as culturas de sequeiro e a dispersão recente da ocupação humana, obrigando à desflorestação dessas áreas limítrofes, favorecem a erosão hídrica (Marques, 1985b).

O Planalto de Santa Catarina é ainda uma unidade estável, em fase de pedogénese, embora algumas áreas estejam já afectadas pela morfogénese, devido principalmente à acção antrópica.



Fig. 2.21. Vista parcial do Planalto de Santa Catarina.

2.3.1.4 Flanco Oriental

O Flanco Oriental da ilha é constituído pelas bacias hidrográficas das ribeiras de São Domingos, Praia Formosa, Seca, Picos, Santa Cruz, Salto, Flamengos e São Miguel.

Trata-se de vasta área totalmente exposta aos alísios. Estes ventos de Nordeste sopram quase permanentemente de Outubro a Julho e a sua acção benéfica começa a fazer-se sentir a partir dos 300 m de altitude. Intermitentemente, a "*lestada*" sopra com certa intensidade na região litoral baixa (área de achadas) entre Outubro e Junho.

Do ponto de vista litológico predominam formações de tufos e tufos-brechas, alternando com escoadas lávicas pouco espessas. Nas grandes quebradas aparecem formações do mesmo tipo cortadas por densa rede filoniana. Estas últimas estão cartografadas como pertencentes ao Complexo eruptivo interno antigo; sobre estas repousa a espessa formação sedimentar dos

Órgãos; sucede-lhe a Formação dos Flamengos e, por fim, as do Complexo eruptivo do Pico da Antónia, com escoadas de fácies basáltica e tufos.

As cabeceiras das ribeiras atrás citadas situam-se no Planalto de Santa Catarina ou nos maciços montanhosos do Pico da Antónia ou da Malagueta. Localizam-se em zonas alcantiladas com declives médios superiores a 25%; os seus troços médios apresentam declives médios entre 5% e 25% (Marques, 1987).

Estas características levam-nos a individualizar a subunidade (IVa) onde a dinâmica erosiva é intensa. Na transição para o litoral, os declives médios dominantes daquelas bacias hidrográficas passam a variar entre 2% e 12%; nas achadas litorais baixas – Pedra Badejo e Achada Fazenda – os declives médios situam-se entre 0% e 5% (Fig. 2.22).

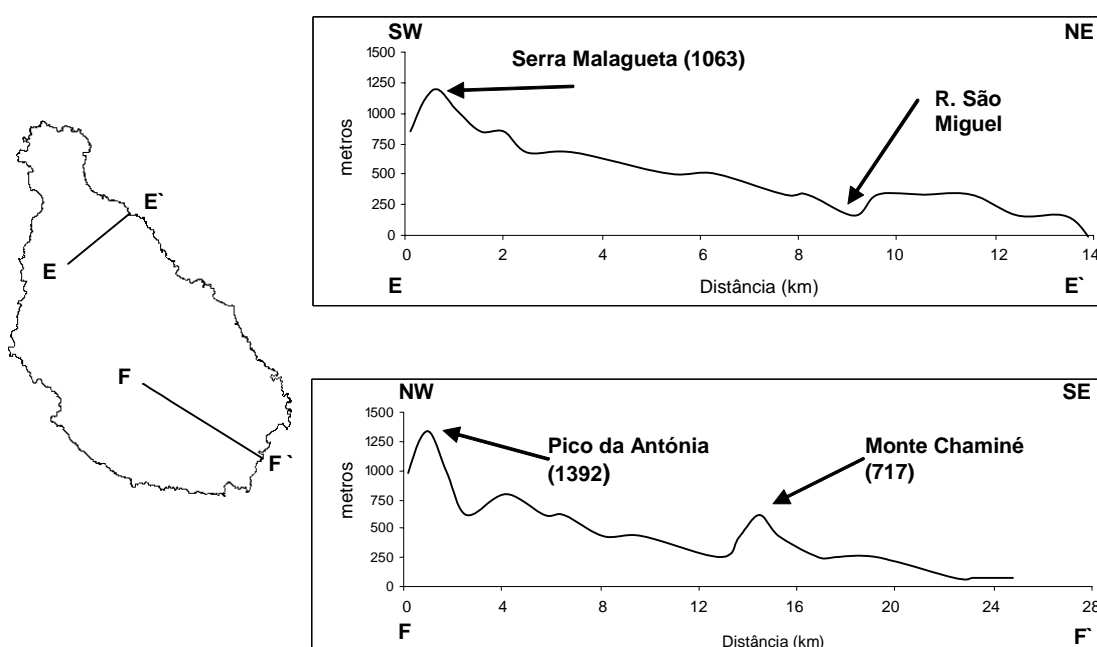


Fig. 2.22. Perfis topográficos do Flanco Oriental, elaborados a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.

Na Tabela 2.5 são indicados os declives médios e altitudes médias das bacias hidrográficas atrás citadas, permitindo verificar que os valores dos declives médios são elevados, enquanto as altitudes médias das bacias se aproximam da altitude média da ilha. Daí que se verifique forte dinâmica erosiva a individualizar a transição para o Planalto de Santa Catarina (IVa).

No seu troço terminal, as ribeiras principais correm nos vales em canhão, cujos fundos são na maior parte aproveitados para culturas diversificadas de regadio (Marques, 1985a).

Tabela 2.5. Principais bacias hidrográficas do Flanco Oriental.

Bacias hidrográficas	Declive Médio (%)	Altitude Média (m)
São Domingos	5,1	310,3
Praia Formosa	8,4	226,2
Seca	8,6	290,4
Picos	6,6	347,9
Santa Cruz	4,2	259,8
Salto	6,3	202,5
Flamengos	5,9	319,6
São Miguel	10,5	327,5

O Flanco Oriental é uma região onde a densidade populacional é elevada e onde as culturas de sequeiro, principalmente a do milho e a do feijão congo, dominam todas as encostas. Admite-se que estes factos sejam uma consequência da exposição aos ventos húmidos de Nordeste.

Esta unidade geomorfológica encontra-se muito erosionada, pois que, tanto do ponto de vista geomorfológico, como do ponto de vista de ocupação do solo, tudo concorre para que a dinâmica erosiva se desencadeie em todas as situações devido à ausência de coberto vegetal eficaz. Toda a compartimentação natural da paisagem foi destruída devido à cultura de sequeiro dominante (milho) e à dispersão caótica do povoamento.

Por outro lado, a cultura do milho exige várias mobilizações do solo ao longo do seu ciclo vegetativo e em função da «previsão popular» de chuva. Desta forma, dadas as características climáticas dominantes, os trabalhos de mobilização do solo tornam-se factores aceleradores da erosão, originando constantes movimentos de massa ('creep') dados os fortes declives médios das encostas. Daí a degradação generalizada do perfil do solo em toda a unidade geomorfológica, principalmente na subunidade (IVa).

As consequências prejudiciais daquela dinâmica são a produção de coluviões que, ao deslizarem ao longo das encostas, se acumulam no fundo dos vales, constituindo, assim, depósitos de vertente não fixados, os quais virão a ser novamente mobilizados para a cultura de sequeiro. Por outro lado, o escoamento hipodérmico nas encostas é anulado.

Assim, os regadios têm de ser bem defendidos com diques para evitar a sua destruição pelo material transportado ao longo das vertentes e pela deslocação dos depósitos de vertente, aquando das enxurradas, ao longo do canal colectador.

Em suma, as condições topográficas adversas, a inexistência de precipitação regular na época própria, a ausência de coberto vegetal eficaz e as práticas agrícolas inadequadas concorrem aceleradamente para a degradação total do perfil do solo. Desta forma, no Flanco Oriental da ilha de Santiago a morfogénese é fortemente positiva.

2.3.1.5 Maciço Montanhoso da Malagueta

O Maciço Montanhoso da Malagueta, que culmina aos 1064 m, é constituído por formações litológicas do Complexo eruptivo do Pico da Antónia, constituindo outro relevo residual do antigo bordo da cratera principal que deu origem à ilha (Fig. 2.23). No sopé meridional do maciço desenvolve-se o Planalto de Santa Catarina; na base da sua encosta Norte estende-se a região do Tarrafal.



Fig. 2.23. Vista parcial do Maciço Montanhoso da Malagueta.

A encosta Norte do maciço está exposta aos alísios, daí uma razão para a existência de coberto vegetal bastante denso. A coroa-la desenvolve-se importante perímetro florestal e algumas pastagens de altitude.

As encostas da Malagueta são fortemente alcantiladas, principalmente as de Nordeste e de Noroeste (Fig. 2.24). Os declives médios destas encostas são sempre superiores a 25% (Marques, 1987). Do lado NE, a unidade desenvolve-se em direcção ao litoral e engloba as bacias hidrográficas de São Miguel e Principal; do lado Noroeste acontece o mesmo, abrangendo a bacia da Ribeira Grande (Tarrafal). Os cursos de água, tanto principais como secundários, estão profundamente encaixados até perto do litoral, onde já correm nos vales em canhão que cortam achadas de média altitude.

Os solos são essencialmente litossolos e solos litólicos.

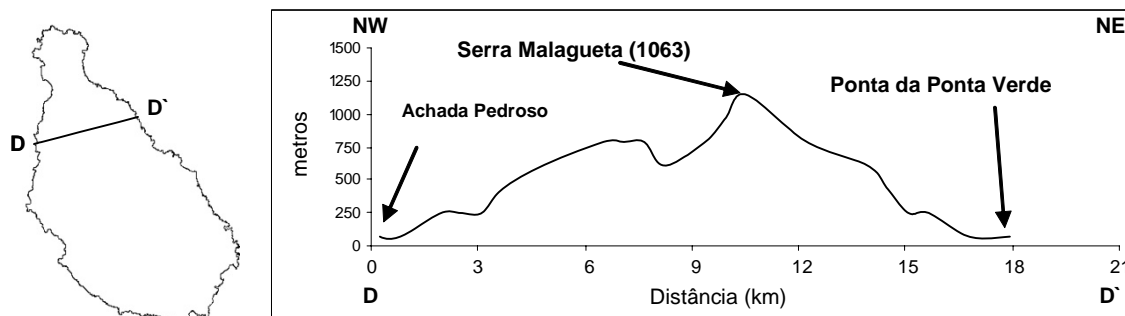


Fig. 2.24. Perfil topográfico do Maciço Montanhoso da Malagueta, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.

Na Tabela 2.6 apresentam-se os declives médios e as altitudes médias daquelas bacias hidrográficas. Os valores mostram que se referem a bacias hidrográficas de montanha. Os valores das altitudes médias estão de acordo com a posição delas e são superiores à altitude média da ilha. Os fundos dos vales encontram-se, na totalidade, pavimentados por detritos onde predominam os blocos; mesmo assim, nos cursos abertos a Noroeste existem alguns regadios.

Tabela 2.6. Principais bacias hidrográficas do Flanco Oriental.

Bacias hidrográficas	Declive Médio (%)	Altitude Média (m)
São Miguel	10,5	327,5
Principal	12,8	377,1
Ribeira Grande	7,0	289,8

Os perfis nas aluviões mostram que sob os blocos se encontra material de granulometria mais fina. Isto pode ser indício de que houve recentemente e/ou que existe actualmente desequilíbrio do meio. A dinâmica erosiva ao longo das encostas abruptas da Malagueta é essencialmente função da acção da gravidade. A acção antrópica pouco se faz notar nesta unidade.

O maciço montanhoso da Malagueta se devidamente florestado, à semelhança do maciço montanhoso do Pico da Antónia, pode tornar-se num bom reservatório natural de água.

2.3.1.6 Tarrafal

O Tarrafal parece corresponder a uma região vulcânica insular que veio a coalescer com a ilha de Santiago propriamente dita (Serralheiro, 1976). Trata-se de uma área de achadas (Achada Grande, Ponta da Achada, Achada Tomás, Achada Bilim, etc.) escalonadas entre 20 e 300 m de altitude, com declives médios compreendidos entre 2% e 5%, e constituídas por formações do Complexo

Eruptivo do Pico da Antónia. Naquela paisagem sobressaem algumas estruturas vulcânicas do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia, das quais a mais imponente é a estrutura de fonólitos e traquitos do Monte Graciosa (Fig. 2.25). Algumas estruturas vulcânicas mais modernas, como o Monte Covado, pertencem à Formação do Monte das Vacas.



Fig. 2.25. Vista parcial do Monte Graciosa.

A estrutura de achadas ocidentais (entre 20 e 100 m de altitude) domina uma extensa plataforma de abrasão marinha que, coberta por depósitos recentes de enxurrada e por algumas dunas, se situa entre Tarrafal e Chão Bom (Fig. 2.26). Os depósitos de enxurrada são alimentados pela destruição das frentes das escoadas lávicas. Por outro lado, aqueles depósitos misturam-se com os de uma linha de costa recente.

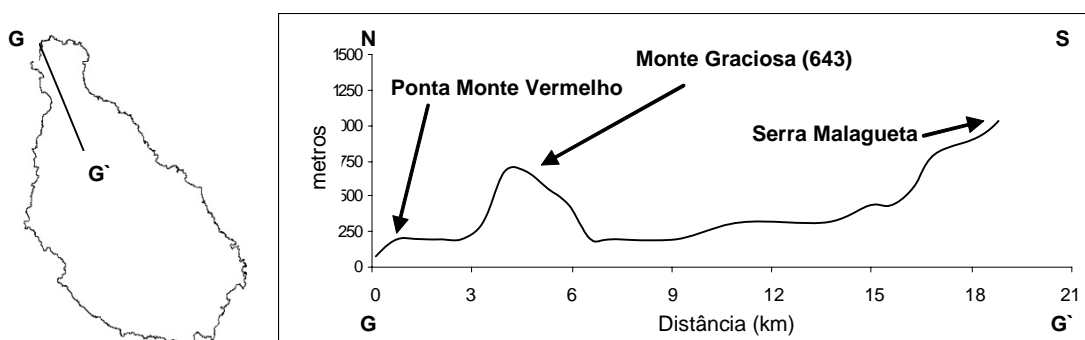


Fig. 2.26. Perfil topográfico do Tarrafal, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1:25 000.

Além da bacia hidrográfica da Ribeira Grande, de que já se falou atrás, existem ainda três pequenas bacias que cortam as achadas e/ou que se encaixam entre morros. São as de Lobrão, Fazenda e Fontão. Caracterizam-se por, numa área restrita, se encaixarem vigorosamente, o que pressupõe problemas recentes de instabilidade do meio. Na Tabela 2.7 indicam-se os declives médios das bacias e as respectivas altitudes médias.

Existe um regadio em Chão Bom alimentado fundamentalmente por água extraída de furos.

Tabela 2.7. Bacias hidrográficas do Tarrafal.

Bacias hidrográficas	Declive Médio (%)	Altitude Média (m)
Lobrão	6,3	150,0
Fazenda	7,2	197,6
Fontão	5,2	171,8

Grande parte da unidade já se encontra muito bem compartimentada, graças à florestação a que se procedeu; neste momento já se pode falar de silvo-pastorícia e procede-se a culturas de sequeiro bem compartimentadas. No entanto, na área de Chão Bom continuam a sentir-se os efeitos desastrosos provocados pela dinâmica morfogenética que afecta o Maciço da Malagueta.

Os alísios só favorecem a fachada Nordeste da unidade. O restante território, que representa a maior área, está exposto a Ocidente e, assim, corresponde-lhe acentuada aridez, a qual, todavia, está sendo contrariada eficazmente pela florestação, efectuada à custa da captação de águas subterrâneas por intermédio de furos.

O Tarrafal pode considerar-se neste momento, e globalmente, como uma unidade de transição para a fase de pedogénese.

2.3.1.7 Flanco Ocidental

O Flanco Ocidental representa a transição entre o Planalto de Santa Catarina e o mar. Do ponto de vista litológico-geológico encontra-se, de forma esparsa, a formação do complexo filoniano de base, sobre a qual jazem escoadas lávicas e tufos do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia e os mantos de fácies basáltica da Formação da Assomada.

Trata-se de uma região extremamente árida, muito declivosa, e que desce abruptamente para o mar. Os declives médios das encostas variam, em geral, entre 12% e 25% (Marques, 1987). As encostas desenvolvem-se paralelamente à linha de costa. O litoral é quase sempre de arriba viva (Fig. 2.27).

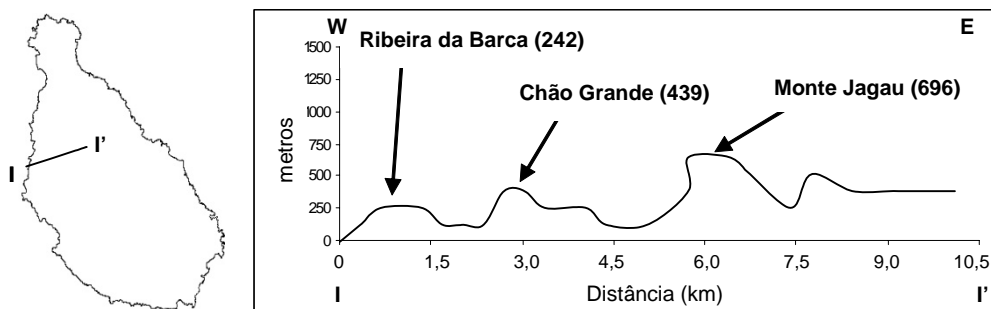


Fig. 2.27. Perfil topográfico do Flanco Ocidental, elaborado a partir da Carta Topográfica na escala 1: 25 000.

As bacias hidrográficas mais significativas nesta unidade são as das ribeiras de Cuba, Laxa, Barca, Sansão, Águas Belas, Selada e Angra, cujos declives médios e altitudes médias estão expressos na Tabela 2.8.

Tabela 2.8. Bacias hidrográficas do Flanco Ocidental.

Bacias hidrográficas	Declive Médio (%)	Altitude Média (m)
Cuba	11,8	469,9
Laxa	15,0	319,8
Barca	9,3	441,4
Sansão ⁽¹⁾	4,2	384,9
Águas Belas	5,4	426,6
Selada	12,3	349,6
Angra	16,7	214,8

⁽¹⁾ As cabeceiras desta situam-se no Planalto de Santa Catarina.

A transição entre as unidades (VII) e (I) é bastante indefinida devido ao facto de o tipo de meteorização física das rochas ser semelhante nas duas unidades. A arenização da rocha é devida à aridez do clima; a fracturação é devida à existência de inúmeras fissuras que afectam as escoadas lávicas. Os detritos vão deslizando ao longo das encostas comandados, e por vezes arrastados, por chuvas episódicas. Quanto aos solos, predominam quase em exclusivo os litossolos e os solos litólicos.

Dada a forma dos vales e o tipo climático reinante, praticamente não há regadio. Quanto às culturas de sequeiro (principalmente a do milho), são as únicas que se praticam episodicamente numa região quase desabitada. Trata-se de uma unidade em franca morfogénese. Na ilha de Santiago, o Flanco Ocidental é, possivelmente, a região em que a dinâmica da desertificação tem a sua expressão mais concreta, só semelhante à das chãs litorais da ilha de São Nicolau.

3

ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

A complexidade geológica e estrutural que caracteriza normalmente as ilhas vulcânicas faz com que os estudos hidrogeológicos neste tipo de ambientes geológicos 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 factores que determinam as características hidrogeológicas das formações vulcânicas são, de acordo com Custodio (1986): o tipo de vulcanismo, a distância do centro emissor, a tectónica, os efeitos da idade e a presença de materiais não vulcânicos interestratificados. Todos estes factores 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 formações aquíferas mais extensas e espessas.

A disponibilidade de recursos de água subterrânea é ainda influenciada directamente 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 relacionada 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 facto de muitas das formações vulcânicas apresentarem permeabilidades bastante baixas e fracturação variável; e, com o próprio regime de exploração intensiva dos sistemas aquíferos para abastecimento urbano (especialmente para o sector do turismo), agrícola e industrial, e que tem contribuído muitas vezes para a sua gradual salinização.

Em ilhas vulcânicas 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.

As características litológicas primárias relacionam-se com o volume, a frequência e o grau de associação de cavidades, poros e fissuras, sendo em regra responsáveis pelas propriedades hidráulicas das formações mais recentes (Rodrigues, 2002).

Com a evolução do tempo, as estruturas rochosas tendem a alterar-se, provocando por vezes alterações em formações anteriores, aparecendo assim novas combinações litológico-estruturais, associadas aos fenómenos de alteração, 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 escoadas de lavas mais permeáveis, podendo actuar como barreiras quase horizontais (Custódio & Llamas, 1983).

Este tipo de ambientes é geralmente caracterizado pela variação litológica, quer primária, quer secundária, originando-se meios hidrogeológicos heterogéneos e anisótropos. Ao nível dos grandes maciços vulcânicos devemos 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.

Em regiões vulcânicas a geometria do aquífero é controlada principalmente pelos contrastes de permeabilidade entre os distintos materiais vulcânicos, escoadas lávicas e depósitos de piroclastos. Também exercem um controlo importante a disposição espacial das unidades subvulcânicas associadas ao vulcanismo (Lameli, 2001).

A permeabilidade das rochas vulcânicas pode variar significativamente devido à heterogeneidade do meio. Em geral, os distintos tipos de materiais vulcânicos e intrusivos subvulcânicos 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 rochas, podendo variar entre 10 a 50% em rochas piroclásticas, 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 libertação dos gases, formando assim rochas porosas. Por outro lado, se a velocidade de consolidação das lavas for rápida, não haverá tempo de libertação dos gases e, conseqüentemente, ao ficar impregnada de bolhas de gás, a rocha terá uma textura vesicular. Com o evoluir do tempo, há a tendência de diminuições de porosidade nas rochas vulcânicas devido a 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.

Estudos hidrogeológicos realizados em outras ilhas vulcânicas da região da Macaronésia têm revelado a existência de recursos de água subterrânea com características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas diversas, nomeadamente no arquipélago das Canárias (Gasparini, 1989; Veerger, 1991; Cabrera Santana, 1995; Bistry, 1996; König, 1997; Lameli, 2001; Muñoz Sanz, 2005; Cruz Fuentes, 2008), Açores (Cruz, 1997; Azevedo, 1998; Rodrigues, 2002; Cruz, 2003) e Madeira (Prada, 2000; Prada, 2005). Em Santiago foram realizados diversos estudos hidrogeológicos já referenciados no capítulo 1 e que colocam em evidência que nesta ilha todas as formações são potencialmente aquíferas, embora umas com maiores potencialidades que outras.

Neste capítulo, é feita a descrição da hidrogeologia da ilha de Santiago, com base na integração e interpretação dos dados de geologia, hidrologia, geomorfologia, hidrogeologia e geofísica disponíveis. A informação hidrogeológica disponível contribuiu para o desenvolvimento de um modelo conceptual do funcionamento hidrogeológico da ilha que constituirá a base da interpretação dos processos de recarga (neste capítulo) e hidrogeoquímicos (capítulo 5) da ilha.

3.1 Inventário de pontos de água

Na ilha de Santiago, os mais completos inventários de pontos de água realizados foram da responsabilidade da Junta dos Recursos Hídricos (JRH) e da Brigada de Águas Subterrâneas (BAS), actualmente representadas pelo INGRH. O primeiro inventário de pontos de água da ilha de Santiago teve início em Setembro 1971 e foi realizado pela Junta dos Recursos Hídricos, para tentar minimizar os efeitos da seca prolongada que assolava a ilha. Neste inventário foram identificadas potenciais áreas para a construção de captações de água subterrânea de forma a melhorar as condições de abastecimento de água às populações.

Na segunda metade da década de setenta, foi realizado pela Brigada de Águas Subterrâneas, um inventário sistemático e detalhado de pontos de água na ilha. Este inventário incluiu a análise de dados hidrogeológicos, realização de inquéritos à população e recolha de amostras de água para análise. Este inventário foi concluído em Dezembro de 1979, com um total de 2 287 pontos de água inventariados e georeferenciados na ilha de Santiago, entre furos,

nascentes, poços, galerias e outras emergências de água, tendo permitido conhecer de forma mais detalhada as características hidrogeológicas da ilha, nomeadamente: (i) perfil litológico dos furos; (ii) caudais de exploração; (iii) piezometria; (iv) principais características químicas.

Para a preparação deste trabalho de investigação foi utilizada como base de dados, o actual inventário de pontos de água do INGRH e que inclui: (i) 1 074 poços; (ii) 1 199 nascentes; (iii) 780 furos/ piezómetros. Esta base de dados serviu de suporte a todos os trabalhos de campo realizados, nomeadamente para a selecção de pontos de água para o estudo hidrogeológico (742 poços, 323 nascentes e 243 furos/ piezómetros) e para análise da qualidade da água (25 poços, 40 nascentes, 68 furos/ piezómetros) (Anexo B).

No desenvolvimento dos trabalhos de investigação levados a cabo, verificou-se que muitos dos pontos de água do inventário do INGRH não tinham coordenadas geográficas sendo por isso difíceis de localizar no campo, outros tinham sido entretanto abandonados por se encontrarem secos ou salinizados. No entanto, confirmou-se também que um número importante das nascentes e furos inventariados continua em funcionamento, ainda que pela sua localização geográfica, não tenha sido possível o acesso a todas as nascentes.

3.1.1 Características gerais dos pontos de água

3.1.1.1 Furos

Na ilha de Santiago, estão inventariados pelo INGRH, um total de 780 furos de captação de água subterrânea, o que dá uma média de praticamente um furo por cada 1,3 km². Destes furos disponíveis, foram seleccionados para a realização deste trabalho um total de 243 furos/ piezómetros, distribuídos de uma forma representativa pelas três unidades hidrogeológicas que constituem a ilha Santiago, desde o nível do mar até aos 700 metros de altitude (Fig. 3.1).

A localização dos furos na ilha foi condicionada por factores como: (1) as condições hidrogeológicas; (2) a distância ao mar; e, (3) a altitude do local. O primeiro factor diz respeito às condições favoráveis à ocorrência de aquíferos; o segundo factor tem em conta o risco de intrusão salina; e o terceiro factor é de natureza meramente económica, uma vez que os furos 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 furos 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. A maioria dos furos está revestida por tubos de ferro (os mais antigos) e PVC (os mais recentes) (Fig. 3.2).

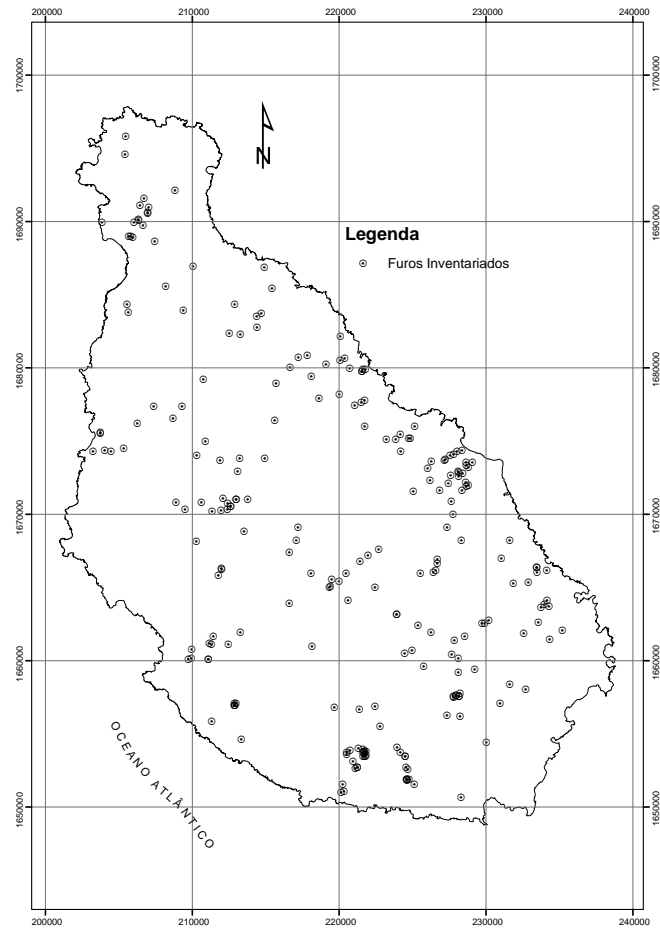


Fig. 3.1. Localização dos furos de captação de água subterrânea inventariados para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.



(a) Furo FT-109 na Praia Baixo



(b) Furo FBE-145 nos Flamengos Abaixo

Fig. 3.2. Furos de captação de água subterrânea na ilha de Santiago.

3.1.1.2 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 km². Destas nascentes, foram seleccionadas para a realização deste trabalho um total de 323 que se encontram representadas na Fig. 3.3.

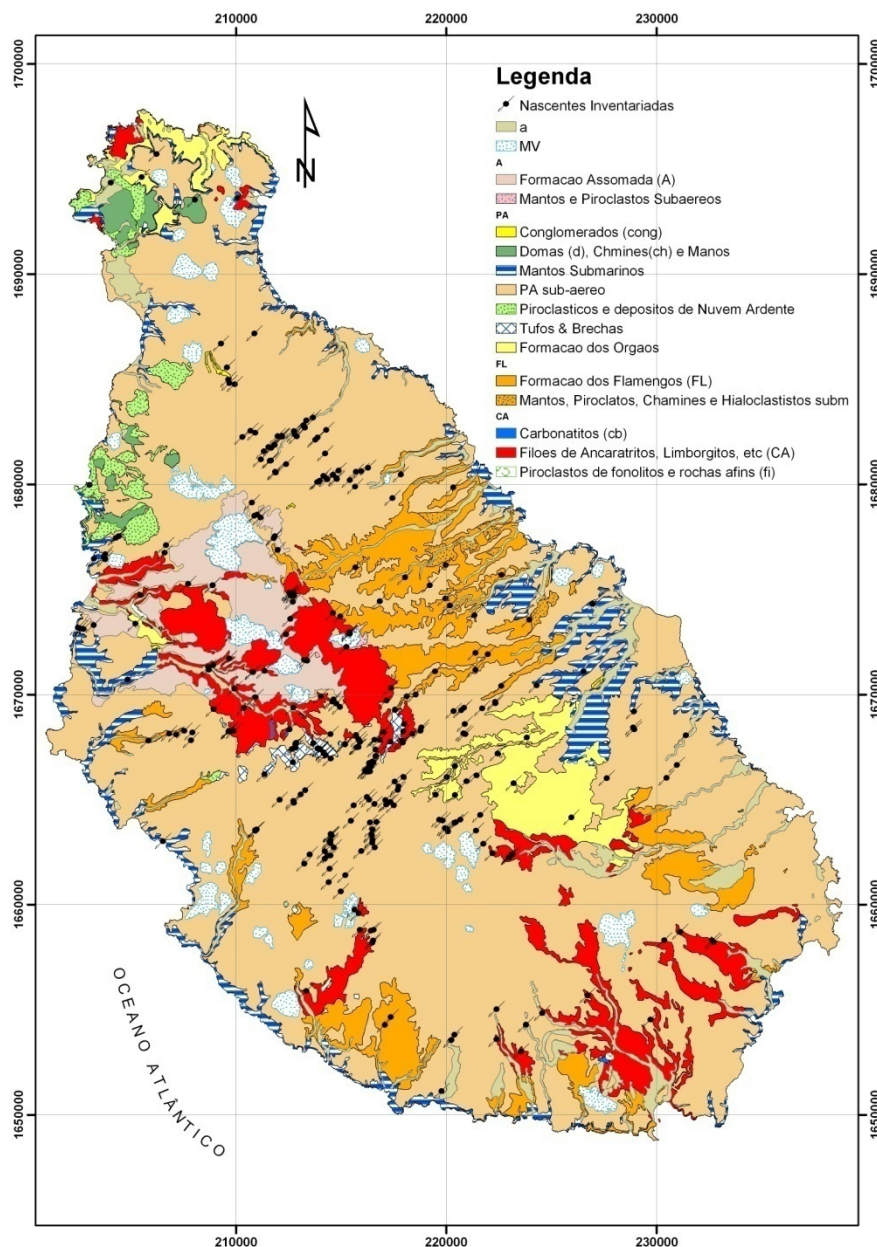


Fig. 3.3. Localização das nascentes inventariadas para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.

A distribuição espacial das nascentes na ilha de Santiago não é uniforme, estando fortemente condicionada pela geologia, rede de fracturação 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 fracturação. 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 metros de altitude da nascente em Angrona (50-050) até os 804 m de altitude da nascente Mato Dentro (54-220), apresentando caudais muito variáveis em função da época do ano e das condições hidrogeológicas (Fig. 3.4). Importa ainda referir que existem diversas nascentes com caudais perenes na ilha de Santiago, sendo da maior importância para o abastecimento público das populações pelo que são monitorizadas regularmente pelo INGRH (Fig. 3.5).

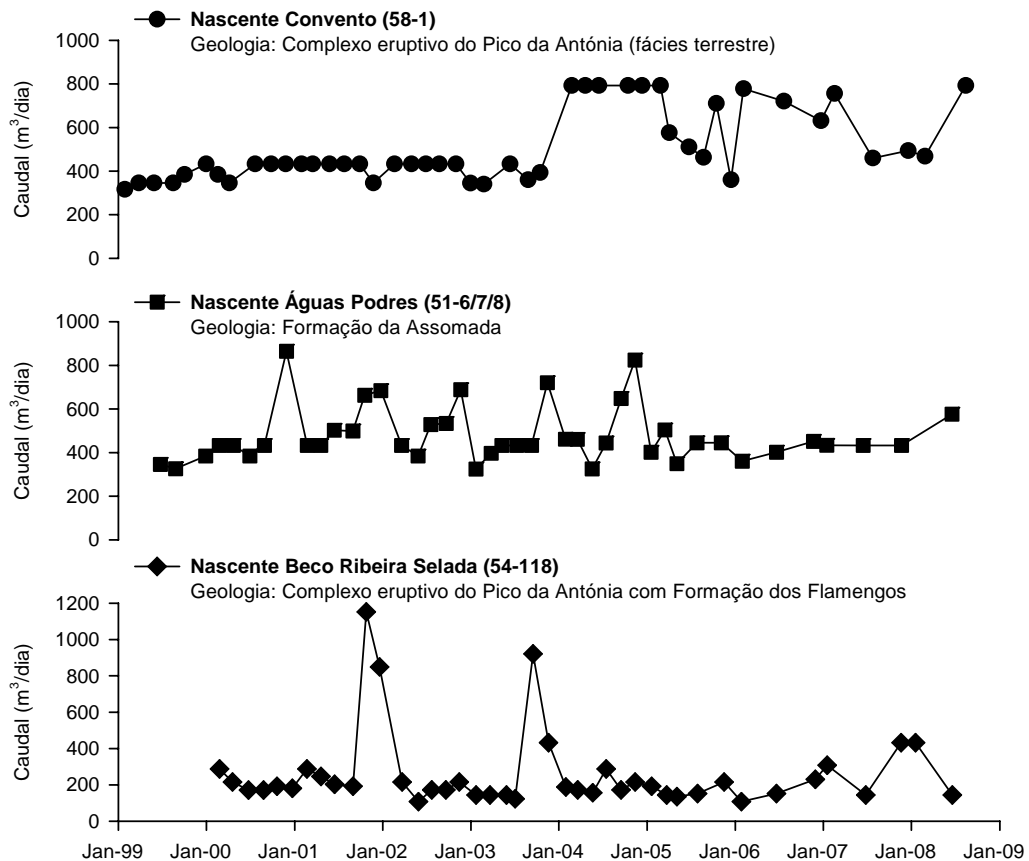


Fig. 3.4. Evolução do caudal das nascentes do Convento (58-1), Águas Podres (51-6/7/8) e do Beco da Ribeira Selada que drenam formações geológicas diferentes.



Fig. 3.5. Nascentes do Beco da Ribeira de Sedeguma (54-6) e do Bom Pó (55-76) utilizadas pelas populações da ilha de Santiago para consumo humano e lavagem de roupa.

3.2.2.1 Poços

A captação da água subterrânea a partir de poços pouco profundos e escavados à mão nas aluviões (ou, com o auxílio de explosivos para ultrapassar rochas mais duras) não é recente na ilha de Santiago, sendo que até ao início dos anos setenta, representava mais de 50% dos recursos hídricos para abastecimento às populações e para a agricultura (Fig. 3.6).



Fig. 3.6. Poço escavado em formações aluvionares localizado na Praia Baixo (56-44) e utilizado para irrigação dos cultivos.

Na ilha de Santiago, estão inventariadas pelo INGRH, um total de 1 074 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 km². Destes poços, foram seleccionadas para a realização deste trabalho um total de 742 que se encontram representadas na Fig. 3.7.

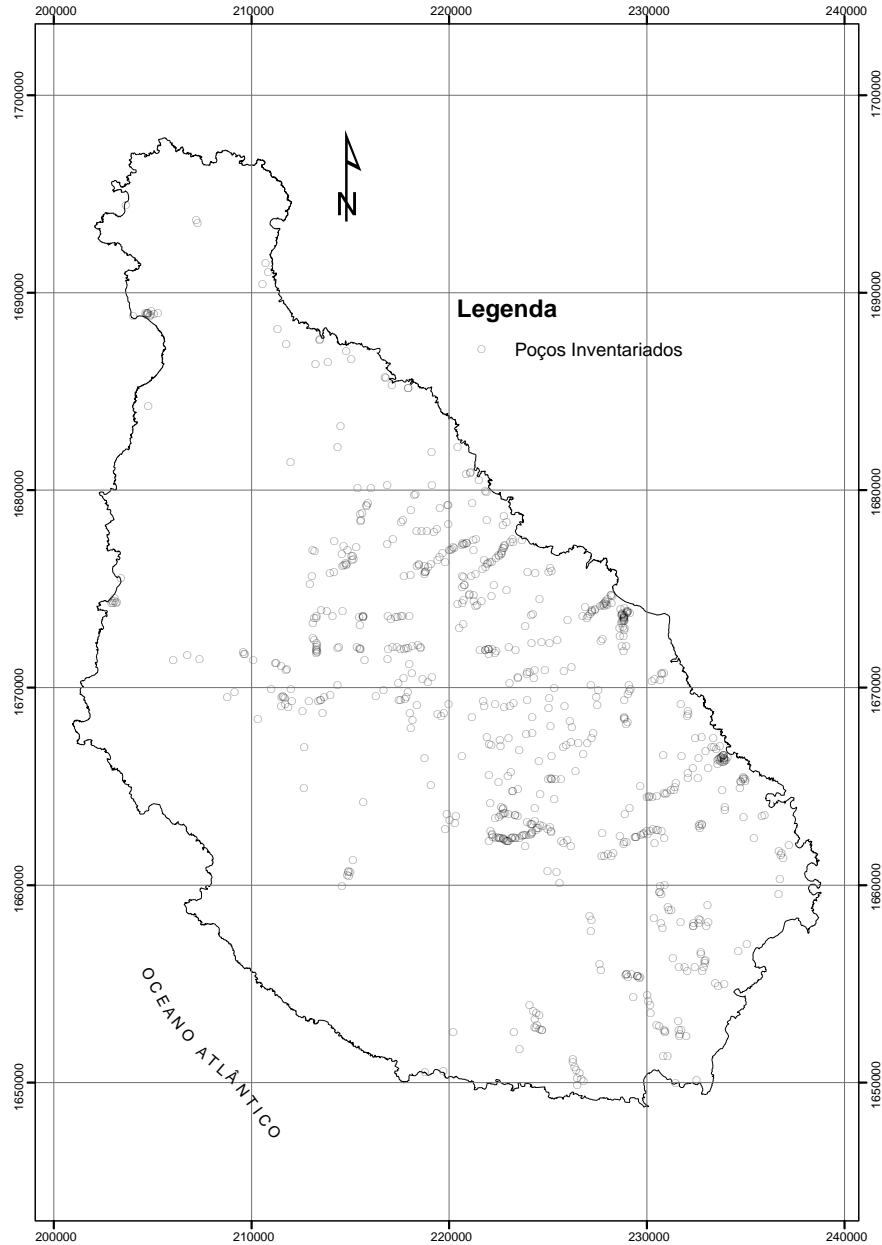


Fig. 3.7. Localização dos poços de captação de água subterrânea seleccionados para o estudo hidrogeológico da ilha de Santiago.

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 fracturados). 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.

Os 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 caudais médios na ordem de 10 a 15 m³/dia, sobretudo quando construídos nas formações do CA, CB e λρ. Os poços escavados nas formações aluvionares, sobretudo quando espessas, podem captar caudais superiores a 100 m³/dia. No entanto, nos períodos de maior estiagem, os poços apresentam com frequência caudais bastante reduzidos 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 (Fig. 3.8).

De realçar que a vulnerabilidade da qualidade da água explorada nos poços 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 afectados por fenómenos de intrusão salina e de contaminação difusa; quer porque as populações, por vezes, utilizam os poços como locais de deposição de lixos devido à falta de protecção (Fig. 3.8).



Fig. 3.8. Poços localizados na Ponta Verde (52-29) e na Ribeira de Flamengos (FT-5) da ilha de Santiago. No poço da Ponta Verde pode verificar-se o elevado número de bombas instaladas.

3.2 Principais unidades hidrogeológicas

Estudos hidrogeológicos realizados na ilha de Santiago com base no estudo detalhado das formações geológicas, logs de sondagens, ensaios de bombagem e inventário de pontos de água, tornaram possível a definição de três unidades hidrogeológicas principais (Fig. 3.9), designadas por **Unidade de Base**, **Unidade Intermédia** e **Unidade Recente**, com características hidrogeológicas diferenciadas (Tabela 3.1) (BURGEAP, 1984).

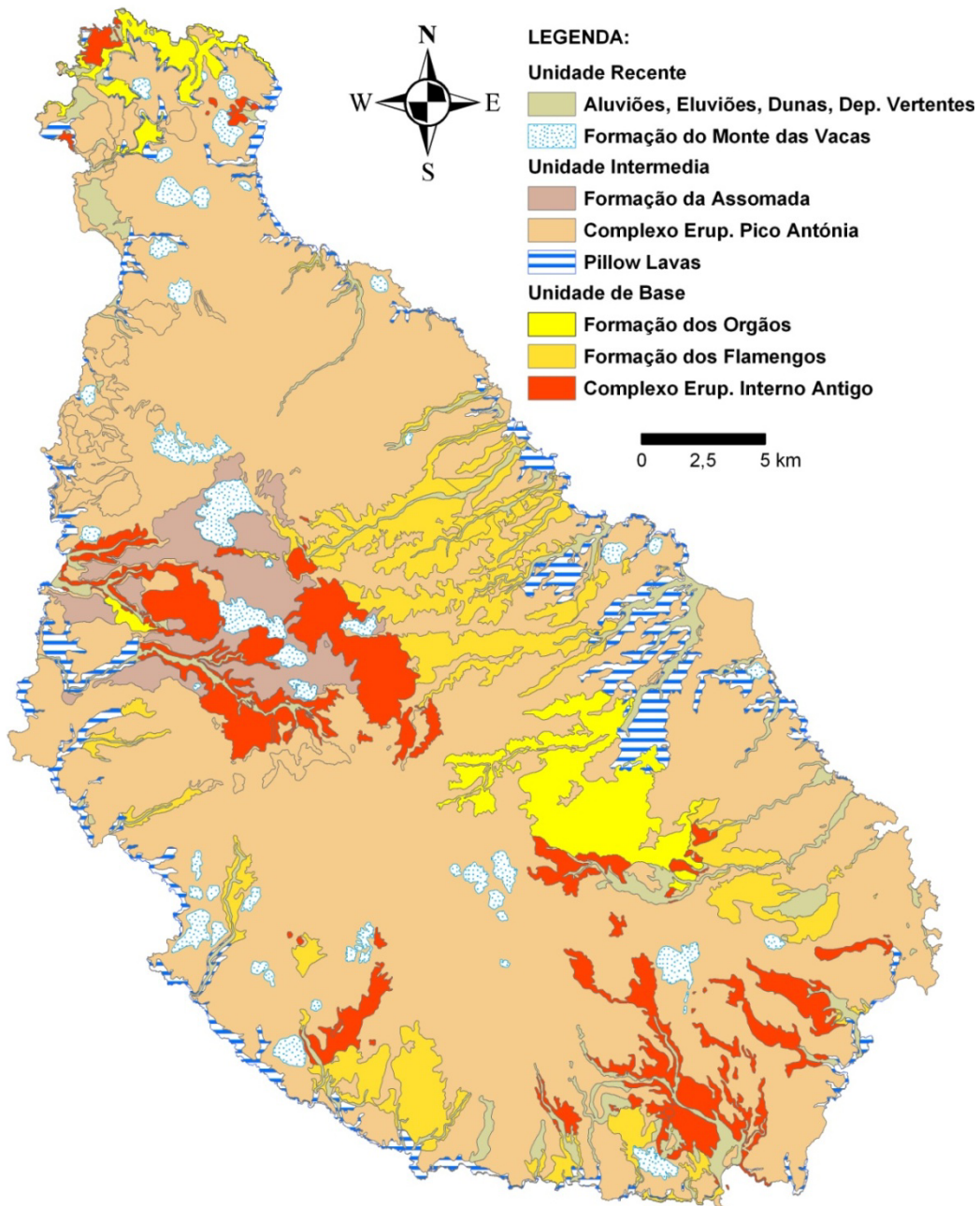


Fig. 3.9. Principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Tabela 3.1. Características das unidades hidrogeológicas da Ilha de Santiago (Adaptado de BURGEAP, 1974)

Unidades	Formações Geológicas	Produtividade	Limites de Produção (m ³ /h)	Caudal Médio Recomendado (m ³ /h)	Transmissividade (m ² /s)
Unidade Base	Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)	Variável segundo o grau de fracturação e aparecimento de filões Estéril nas zonas de tufos	0 – 10	3	0,2 a 5·10 ⁻⁵
	Formação dos Flamengos (Ap)	Variável segundo a relação pillow-lavas/brechas Estéril nas zonas de tufos	0 – 25	5	0,2 a 5·10 ⁻⁵
	Formação dos Órgãos (CB)	Variável segundo a percentagem de piroclastos e aparecimento de filões	0 – 10	3	0,2 a 5·10 ⁻⁵
Unidade Intermédia	Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA)	Camadas de rochas basálticas com intercalações de piroclastos e tufos Predominância de tufos e brechas Predominâncias de pillow-lavas Brecha de base das grandes camadas	0 – 10 0 – 5 20 – 100 10 – 60	5 3 40 30	1·10 ⁻⁴ a 5·10 ⁻⁴ 0,2 a 3·10 ⁻⁴ 10 ⁻¹ a 2·10 ⁻² 10 ⁻¹ a 2·10 ⁻²
	Formação da Assomada (A)	Basalto alveolar e piroclastos Espessa sucessão de camadas	0 – 10 5 – 40	5 25	10 ⁻⁴ a 5·10 ⁻⁴
Unidade Recente	Monte das Vacas (MV)	Zona privilegiada de infiltração	-	-	-
	Aluviões (a)	Variável segundo espessura e percentagem de argila A montante – vales pequenos e espessura reduzida A jusante dos grandes vales – vales amplos e aluviões espessas, grosseiras e limpas.	2 – 15 20 – 100	8 40	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵ 10 ⁻¹ a 2·10 ⁻²

3.2.1 Unidade Recente

A Unidade Recente é constituída pela Formação do Monte das Vacas (MV) e por uma formação constituída essencialmente, por aluviões (a).

A Formação do Monte das Vacas (MV) é constituída principalmente por cones de piroclastos basálticos (tufos, bagacinas, bombas e escórias), em alguns dos quais se pode observar pequenos derrames associados. Esta formação é muito permeável, não permitindo a retenção das águas, que se infiltram, em direcção ao aquífero principal. Localmente constituem importantes zonas de recarga das unidades aquíferas subjacentes.

O comportamento hidrogeológico das formações aluvionares depende das respectivas granulometrias, espessuras e percentagens de argilas. Assim, quando espessas, grosseiras e isentas de argila, possuem porosidade e permeabilidade elevadas, e apresentam valores de transmissividade da ordem de 10^{-1} a $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Os furos são aqui de grande produtividade, como se pode observar na parte terminal das ribeiras dos Flamengos, Seca, Picos e na Achada Baleia, onde se chega a atingir caudais médios de exploração 40 m³/h, com uma exploração média de 12 horas por dia. As formações aluvionares localizadas mais a montante das ribeiras, apresenta em geral menor espessura e granulometrias mais finas, com valores de transmissividade que variam de 10^{-4} a 10^{-5} m²/s e caudais médios de exploração de 8 m³/h.

Em Santiago, estes depósitos são muito heterogéneos, apresentando características aquíferas variáveis em profundidade. Devido à sua proximidade à costa, encontram-se em conexão hidráulica com o mar, permitindo assim, quando sobreexploradas, a intrusão marinha. Estão já identificados sinais evidentes de intrusão salina em captações realizadas a mais de três quilómetros da linha de costa, como se verá no capítulo 5.

3.2.2 Unidade Intermédia

A Unidade Intermédia é constituída pela formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA) e pela Formação da Assomada (A).

A formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia é constituída principalmente por mantos basálticos subaéreos e submarinos com intercalações de piroclastos, atingindo o conjunto, por vezes espessuras de dezenas de metros e uma extensão significativa. Esta formação constitui o principal nível aquífero, apesar de ter valores de permeabilidades muito variáveis devido à sua grande heterogeneidade litológica.

Embora pouco conhecida a tectónica da ilha, o fluxo da água em níveis aquíferos desta formação parece ser muito condicionado pela presença de fracturas e filões, verificando-se que a

permeabilidade diminui significativamente com a profundidade devido à redução do grau de fracturação.

Os maiores relevos da ilha estão associados às zonas onde esta formação recebe infiltração directa da precipitação. As descargas, muitas vezes sob a forma de nascentes, são normalmente relacionadas com fracturas ou zonas de contacto desta formação com outras formações de permeabilidade mais baixa. Comparando com a Unidade de Base, o seu coeficiente de armazenamento é relativamente elevado, contudo, ao apresentar uma permeabilidade muito heterogénea, nem sempre permite uma rápida drenagem dos níveis aquíferos.

Importa salientar que as zonas da formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia onde predominam as pillow lavas, de fácies submarina, se caracterizam por valores médios de transmissividade elevados da ordem de 10^{-1} a $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s, os quais facilitam a descarga ao mar mas também a intrusão salina. Nesta fácies, podemos obter caudais acima da média da ilha, como por exemplo, 40 m³/h, com uma exploração média de 12 horas por dia e, por vezes, chegando a atingir 20 horas por dia com um rebaixamento pouco significativo.

Na fácies subaérea, quando predominam brechas de base das grandes camadas, o caudal médio de exploração diminui ligeiramente (20-30 m³/h), com uma exploração média de 12 horas por dia e um rebaixamento pouco significativo. Nesta formação quando identificadas camadas de rochas basálticas com intercalações de piroclastos e tufos e predominância de tufos e brechas, os limites de produção média são muito abaixo da média e com um caudal de exploração média de 3-5 m³/h e com as transmissividades respectivas de 10^{-4} a $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s e 0,2 a $3 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

A formação da Assomada é constituída por mantos basálticos subaéreos e piroclastos, atingindo por vezes espessuras de dezenas de metros, na parte central, que se localiza no planalto da Assomada ladeada pelos dois principais maciços da ilha, o Pico da Antónia e a Serra Malagueta. O caudal de exploração ronda em média 20-25 m³/h, com uma exploração média de 10-12 horas por dia e rebaixamento pouco significativo. A transmissividade calculada é de 10^{-4} a $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

3.2.3 Unidade de Base

A Unidade de Base é constituída principalmente pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), a Formação dos Flamengos (ρλ) e a Formação dos Órgãos (CB). Esta unidade é caracterizada por um grau elevado de compacidade, forte alteração dos afloramentos e conseqüentemente baixa permeabilidade relativamente às formações geológicas mais recentes.

Estudos geofísicos efectuados por Rabadan (1992) em zonas de afloramento da formação do Complexo Eruptivo Interno Antigo demonstram que existe uma camada alterada ou meteorizada com uma espessura variável, debaixo da qual se encontra a rocha alterada, muito

fracturada, com espessura de 10 a 20 metros e porosidade elevada (5-10%). Debaixo desta zona encontra-se a rocha 'mãe', muito compacta e praticamente improdutivo.

Poços escavados em zonas de alteração têm uma produtividade superior à média, isto é, 5-15 m³/h, com um funcionamento médio de 8-10 horas por dia, muito embora o caudal médio seja de 3-5 m³/h. Os furos construídos nesta formação têm normalmente uma produção que varia entre 2-7 m³/h, com um funcionamento médio de 8-10 horas por dia. Outros casos acontecem quando as perfurações intersectam filões basálticos em profundidade, que actuam como drenos dentro da formação, permitindo furos com produtividades superiores à média, isto é, 7-15 m³/h, com um funcionamento médio de 8-10 horas por dia. A transmissividade média desta formação varia de 0,2 a 5·10⁻⁵ (m²/s).

Segundo dados existentes, a Formação dos Flamengos tem características hidrogeológicas muito semelhantes às do CA. É caracterizada por caudais que não ultrapassam os 15 m³/h, com uma transmissividade baixa, de cerca de 0,2 a 5·10⁻⁵ (m²/s). Excepcionalmente quando predominam as pillow lavas, podemos obter caudais acima da média, como por exemplo, 20 m³/h, com uma exploração média de 10-12 horas por dia e um rebaixamento pouco significativo. Também é o papel hidrogeológico dos filões nesta formação, importante, comportando-se como barreiras ou como drenos. De referir que o único furo construído na ilha que nunca deu água (FT-20) foi implantado numa formação de tufos da Formação de Flamengos com muito baixa permeabilidade.

Na Formação dos Órgãos, para além das características semelhantes às outras formações desta Unidade de Base, pode-se verificar que a sua produtividade varia consoante a percentagem de piroclastos e a ocorrência de filões e fracturas, podendo ter captações com produtividades de 10 m³/h e com um caudal médio na ordem dos 3 m³/h.

Devido às características hidrogeológicas das três formações que constituem a Unidade de Base da ilha – elevada compacidade e reduzida permeabilidade, dependente da rede de fracturação e da presença de filões, esta apresenta em geral águas de elevado grau de mineralização.

3.3 Piezometria

A análise da piezometria na ilha de Santiago foi feita com base nos dados de monitorização do INGRH e que incluem a medição, três vezes por ano, de níveis em piezómetros (Fig. 3.10) e poços (Fig. 3.11), assim como a medição de caudais de nascentes (Fig. 3.12). De referir, que o número e a distribuição espacial dos piezómetros é actualmente muito limitada devido ao facto de alguns dos

piezómetros existentes terem sido aproveitados para abastecimento de água às populações e outros terem sido vandalizados.

Da análise da evolução temporal dos caudais das nascentes e da piezometria nos piezómetros e poços, verifica-se que:

- é provável a existência de continuidade lateral do nível piezométrico em toda a ilha de Santiago, sendo que os poços e piezómetros junto à costa apresentam níveis piezométricos menos profundos que nas zonas mais elevadas do interior da ilha;
- os níveis piezométricos medidos nos furos e nos poços respondem às precipitações, observando-se que o nível recupera nos meses seguintes à época de 'boa chuva', pelo que existe recarga de água subterrânea pela precipitação. No entanto, esta recarga subterrânea divide-se entre uma recarga imediata e outra diferida, já que a resposta observada nos piezómetros pode ocorrer até três ou mesmo, seis meses, depois das precipitações;
- os caudais das nascentes também verificam variações significativas com as precipitações (em geral, $> 200 \text{ m}^3/\text{dia}$), o que considerando que estas constituem pontos de descarga de água subterrânea, confirma também a influência da infiltração da água da chuva na recarga subterrânea;
- as variações de níveis piezométricos é mais significativa nos poços ($>3\text{-}5 \text{ m}$) do que nos furos ($< 0,5 \text{ m}$) que captam a maiores profundidades, o que indica que as unidades hidrogeológicas mais profundas recebem uma recarga natural diferida e em menor quantidade;
- os piezómetros que indicam níveis piezométricos sob o nível médio do mar (SST-25, SST-31, SST-35) estão localizados na zona Norte da ilha e nas proximidades da costa (Achada Tomás) e captam níveis de pillow lavas recentes, muito permeáveis, sob o nível médio do mar;
- as descidas de níveis piezométricos mais significativas observam-se nos poços localizados a maiores altitudes;
- a maioria dos poços localizados nas zonas mais baixas da ilha, nas proximidades da linha de costa, apresentam níveis piezométricos que oscilam poucos metros sobre o nível médio do mar (em geral, entre 0 -10 metros). Em anos mais secos, a captação de água e exploração não sustentável, produz pronunciados rebaixamentos dos níveis aumentando o risco de gradual salinização do aquífero. Actualmente, os poços 50-15 (Charco), 51-23 (Principal), 51-274 (Areia Branca), 52-162 (Aguada), 56-29 e 56-44 (Praia Baixo) apresentam níveis piezométricos sob o nível médio do mar.

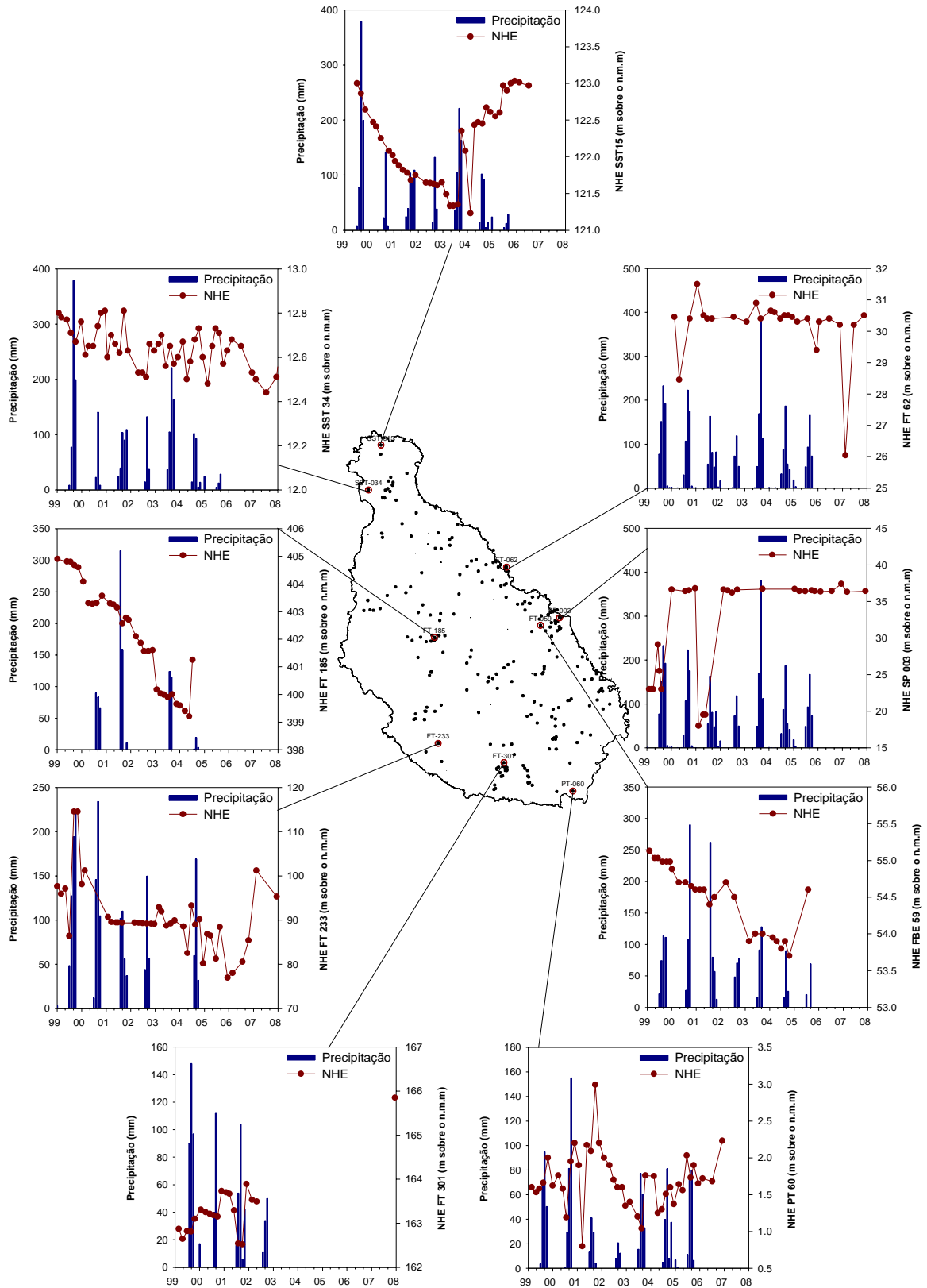


Fig. 3.10. Evolução do nível piezométrico em furos/ piezómetros da rede de monitorização do INGRH na ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.

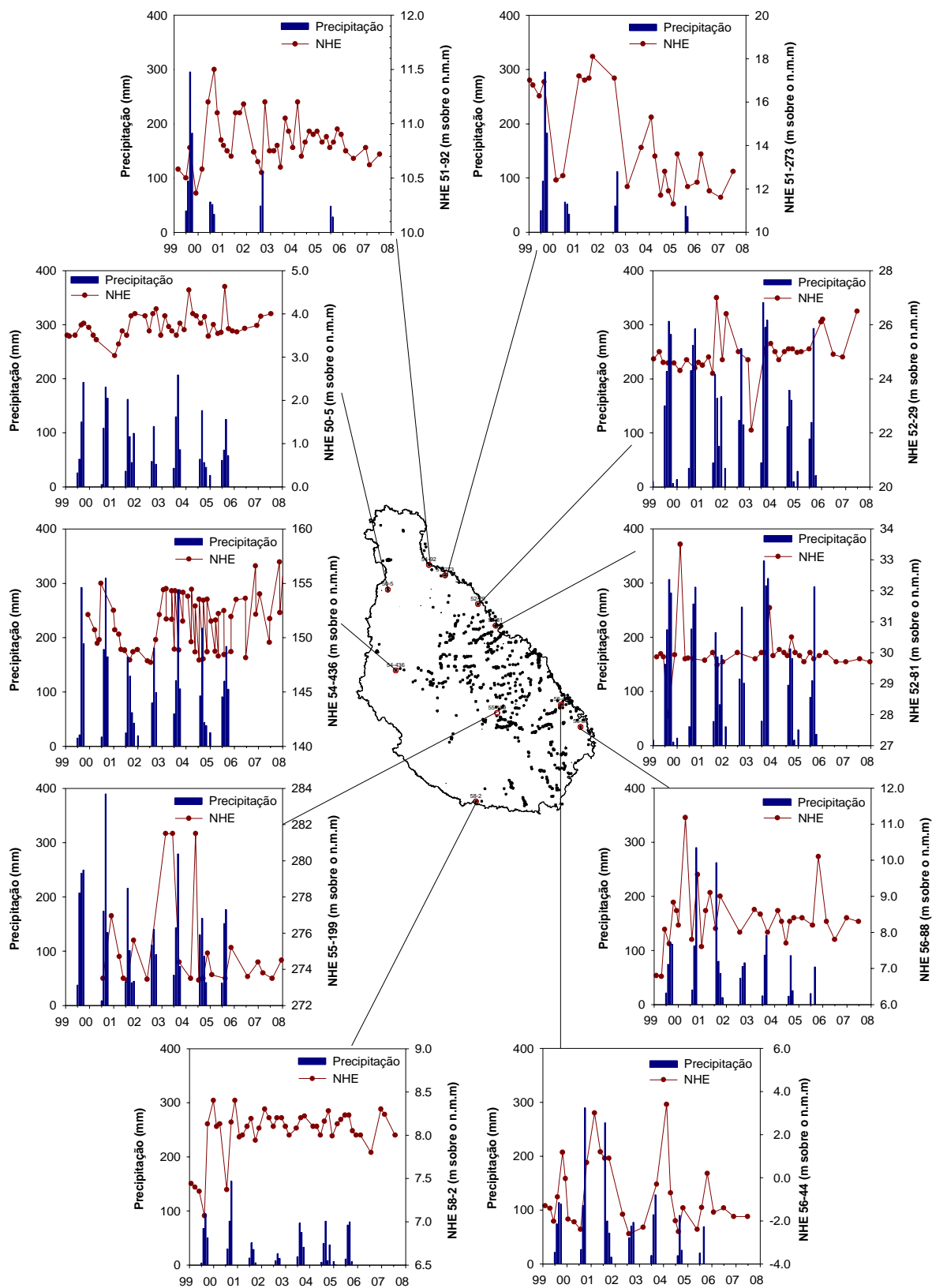


Fig. 3.11. Evolução do nível piezométrico em poços da rede de monitorização do INGRH na ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.

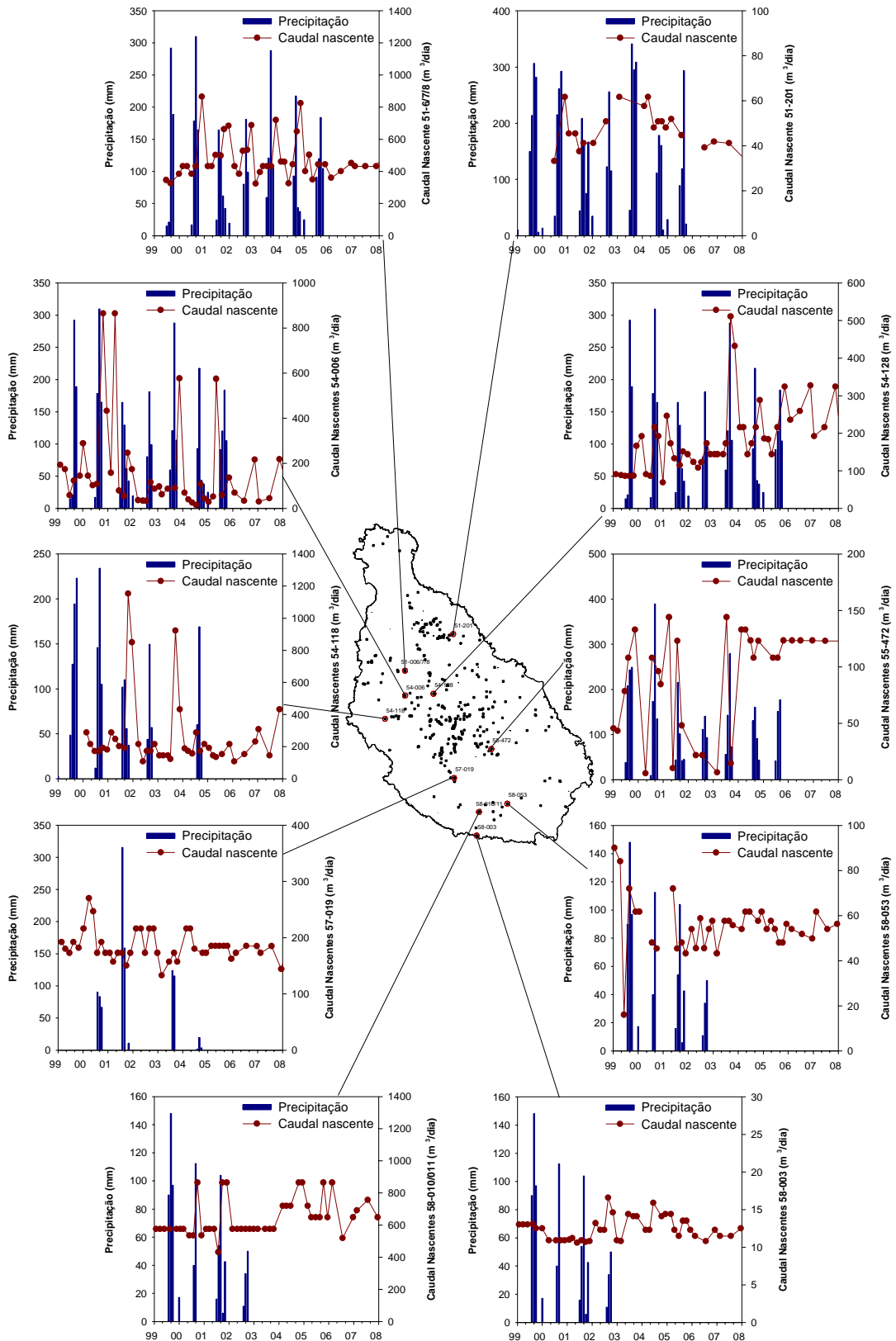


Fig. 3.12. Evolução do caudal das nascentes existentes da rede de monitorização do INGRH na Ilha de Santiago e comparação com o regime de precipitações.

Com base nos níveis de água subterrânea medidos nos poços e furos e nas cotas altimétricas das nascentes (que se assumiu serem zonas onde o nível freático intersecta a superfície topográfica), procedeu-se ao cálculo dos níveis piezométricos que serviram de base à construção dos mapas piezométricos da ilha Santiago.

Os mapas são apresentados para cada um dos anos entre 1999 e 2008 (Fig. 3.13, Fig. 3.14) e os valores correspondem às médias dos quatro valores dos níveis piezométricos medidos trimestralmente. Nestes mapas, foram indicadas também as principais direcções de fluxo subterrâneo e utilizou-se as cores mais fortes (vermelho, laranja e amarelo) para indicar as zonas onde o nível piezométrico se encontra sob o nível médio do mar.

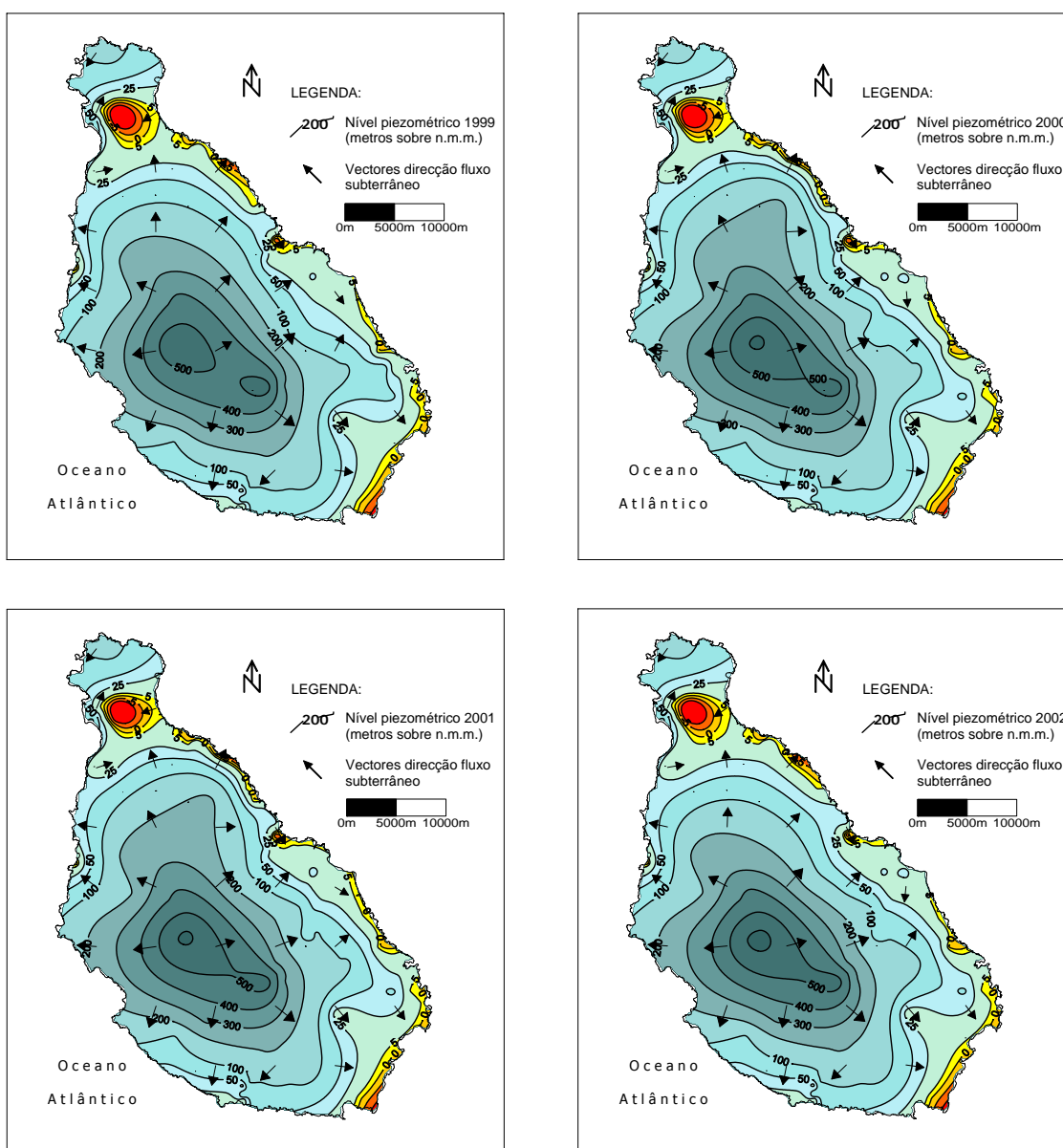


Fig. 3.13. Piezometria da ilha de Santiago entre 1999 e 2002.

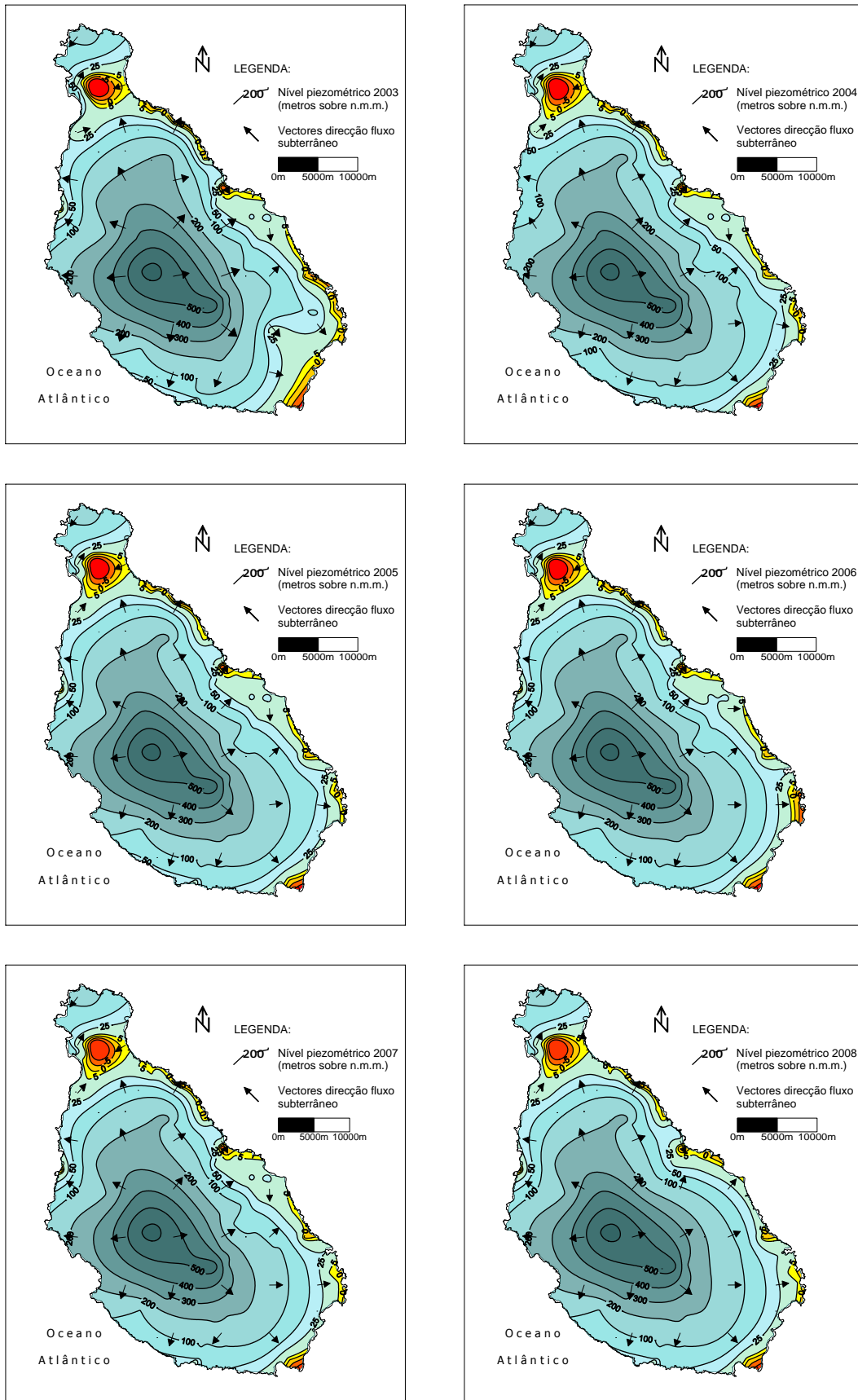


Fig. 3.14. Piezometria da ilha de Santiago entre 2003 e 2008.

Sob condições naturais, verifica-se que o fluxo natural subterrâneo na ilha de Santiago segue a topografia, deslocando-se das zonas mais altas para as mais baixas, e descarregando nas principais linhas de água superficiais (ribeiras) e no mar. Este gradiente natural é mais elevado nas zonas mais elevadas da ilha (0,05) do que nas zonas mais próximas da costa (0,008).

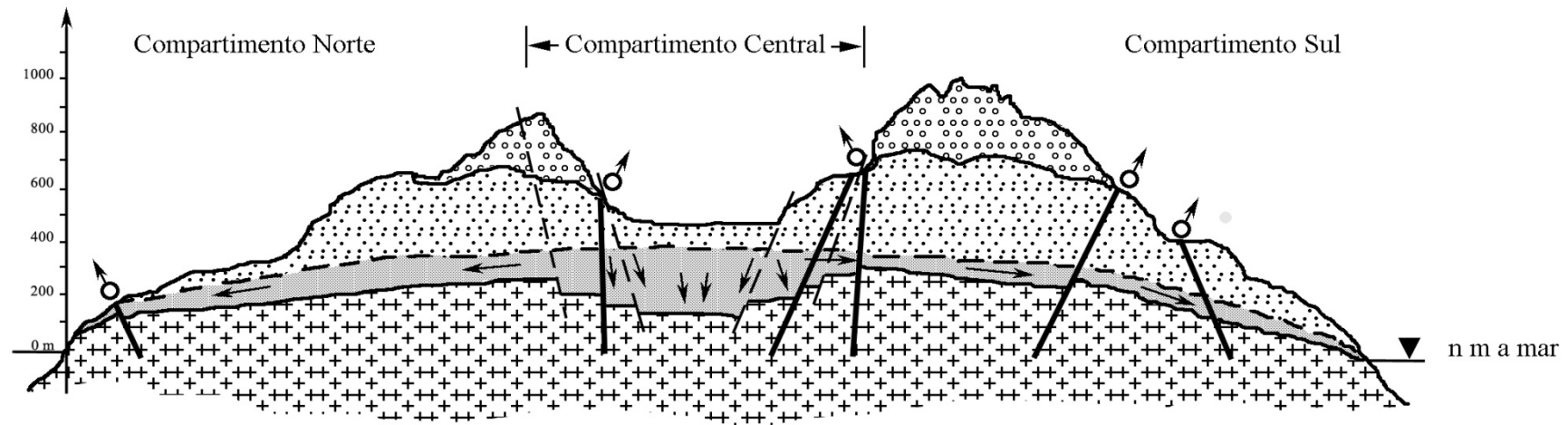
No entanto, da análise dos mapas piezométricos verifica-se também que a exploração dos recursos de água na ilha de Santiago, tem provocado uma alteração do padrão de fluxo natural subterrâneo. Actualmente, existem determinadas zonas no Norte, na costa Oriental e Sul da ilha - Tarrafal (Ribeira Grande), São Miguel (Ribeira Principal), Santa Cruz (Ribeira Seca), Achada da Baleia e Praia, onde actualmente o fluxo natural se encontra invertido, dando-se de mar a terra, potenciando a intrusão salina e constituindo um risco para a qualidade da água subterrânea.

3.4 Modelo hidrogeológico conceptual

Com base na informação geológica, geomorfológica, topográfica, hidrológica e hidrogeológica disponível sobre a ilha de Santiago e o conhecimento científico adquirido durante os trabalhos de campo realizados no âmbito do presente trabalho de investigação, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo hidrogeológico conceptual da ilha de Santiago (Fig. 3.15).

A ilha de Santiago apresenta do ponto de vista hidrogeológico um grande reservatório central de água subterrânea constituído essencialmente pelas formações da unidade intermédia, nomeadamente pela formação da Assomada e do Pico da Antónia. Este reservatório central tem uma forma lenticular, com uma maior espessura na parte central e estreitando em direcção à costa. Recebe infiltração directa ou diferida da precipitação da água da chuva ou da condensação dos nevoeiros e é drenado por inúmeras nascentes e/ou ribeiras que sulcam a ilha em direcção ao mar. Pode descarregar também directamente ao mar ao longo da costa nas zonas de gradiente hidráulico positivo.

As formações da unidade de base formam normalmente a base impermeável do sistema aquífero insular. No entanto, nas zonas da ilha onde estas formações de base são atravessadas por inúmeros filões (Assomada, Sansão, Covão Grande, Achada Gregório, Engenho, Palha Carga e Ribeira de Sedeguma), estes podem actuar como zonas de descarga subterrânea preferencial do sistema aquífero subjacente, principalmente sob a forma de nascentes. De referir que esta rede filoneana pode ser tão intensa que pode compartimentar e confinar localmente o sistema aquífero. Pelo contrário, as formações aquíferas relacionadas com a unidade recente funcionam como áreas de infiltração preferencial para o reservatório central. Normalmente são formações muito permeáveis, principalmente a formação do Monte das Vacas, que pelas suas características geológicas (piroclastos) apresentam permeabilidades elevadas, constituindo uma das zonas de recarga privilegiada.



Legenda










- | | |
|---|--|
|  Unidade Recente (MV) |  Nascente |
|  Zona Não Saturada |  Sentido do fluxo |
|  Zona Saturada |  Nível piezométrico |
|  Formação de Base (CA; CB; XP) |  Falha |
| |  Dique |

Fig. 3.15. Modelo hidrogeológico conceptual da ilha de Santiago.

Da análise do modelo conceptual proposto na Fig. 3.15 verifica-se ainda que, do ponto de vista hidrogeológico, a ilha se pode compartimentar em duas zonas distintas: uma zona superior localizada a maiores altitudes e normalmente não saturada, onde a água que se infiltra a partir da precipitação da água da chuva e circula verticalmente por gravidade, podendo ficar armazenada temporariamente em aquíferos suspensos, que por sua vez podem drenar para níveis mais profundos ou descarregar superficialmente a partir das nascentes. E, uma zona inferior, saturada, onde predomina a circulação horizontal ou sub-horizontal sobre as camadas impermeáveis e/ou em interface com a água do mar. Este aquífero basal apresenta, em geral, uma grande continuidade lateral e superfície livre, sendo controlado inferior e lateralmente pela relação de densidades entre água doce e a água do mar.

A zona não saturada, pode ainda ser subdividida num compartimento central e em outro lateral. No compartimento central processa-se uma rápida circulação da água, geralmente no sentido vertical, através de um processo de convergência gradual ao longo de fracturas verticais e sub-verticais, a que certamente poderão estar associados movimentos tectónicos ocorridos. Tem também associada a existência de aquíferos delimitados lateralmente por fracturas verticais com disposição circular aproximadamente concêntrica, e inferiormente, por escoadas lávicas espessas e com estrutura maciça. Nos compartimentos laterais, a circulação da água subterrânea processa-se para ambos os lados da caldeira, em forma de escada, mudando de comportamento a nível estrutural e possivelmente a nível de hidrogeoquímico como veremos no capítulo seguinte.

O comportamento hidráulico ao longo destes compartimentos laterais, é frequentemente interrompido por filões que se posicionam em estruturas verticais e sub-verticais. Estes filões, muitas vezes ao servirem de barreiras, para além de criarem condições para a existência de aquíferos suspensos, provocam a saída da água à superfície, aparecendo assim as nascentes.

Tal como para a zona não saturada, o comportamento hidráulico na zona saturada também pode ser caracterizado por diferentes zonas. Uma zona central constituída por um domínio saturado com espessura significativa, que por sua vez está associada a zonas de grande recarga aquífera e conseqüentemente relacionada com grande probabilidade de existir uma elevada carga hidráulica. A circulação da água no aquífero é aqui predominantemente vertical e descendente. A seguir tem-se uma zona de transição para a costa, sendo difícil a sua delimitação, embora podendo ser caracterizada por uma circulação quase horizontal e interceptada pela abundante rede de filões quase verticais.

Nas zonas mais próximas da costa, o gradiente hidráulico depende muito da topografia mais ou menos aplanada da costa, estando fortemente condicionado pela exploração de água subterrânea junto à costa pelas populações que condiciona a relação de equilíbrio água doce-água salgada.

3.5 Condições de descarga da água subterrânea

3.5.1 Condições naturais

A descarga natural de água subterrânea dos principais níveis aquíferos da ilha de Santiago pode ocorrer sob a forma de (1) nascentes; (2) linhas de água; (3) descarga submarina ao longo da costa.

As nascentes estão geralmente relacionadas com a presença de fracturas, filões e níveis impermeáveis. Pelo número de nascentes existentes na ilha e pela sua implantação geográfica, pode-se dizer que grande parte das descargas é efectuada no planalto central, ladeado pelos maciços do Pico da Antónia e da Serra Malagueta, uma vez que o mesmo possui cerca de 70% das nascentes existentes em toda a ilha.

As ribeiras também constituem uma das vias preferenciais de descarga subterrânea, devendo realçar que os próprios vales constituídos por camadas de aluviões de espessura variável, também podem actuar como zonas de descarga preferencial para níveis inferiores ou por vezes directamente para o mar.

3.5.2 Condições influenciadas

Na ilha de Santiago, os furos e os poços são as principais formas de captação e exploração de águas subterrâneas, e por isso constituem eles mesmo zonas de descarga subterrânea.

Na sua grande maioria, os furos e os poços estão localizados nas proximidades das ribeiras, não muito distantes da orla marinha, muito embora não se possa deixar de destacar um número significativo de furos implantados no planalto central entre os dois maciços principais da ilha e que muito contribuem para o abastecimento das populações.

Na ilha de Santiago, a grande maioria dos poços destinados ao abastecimento público e agricultura tem sistemas mecânicos de motobombas para captar a água. No entanto, existem ainda na ilha poços com sistemas de captação manuais ou que têm moinhos de vento instalados. Nos períodos de maior estiagem os poços na sua grande maioria têm os seus caudais reduzidos e muitos chegam a secar, pondo em perigo importantes zonas agrícolas.

De realçar que a maioria dos poços construídos nas proximidades da orla marítima apresenta sinais evidentes de salinização, sendo que os recursos de água subterrânea nestas zonas estão muitas vezes explorados até ao limite da sua sustentabilidade. Deve-se destacar que, a piezometria da ilha revela que em muitas destas regiões costeiras onde abundam os poços se tem níveis piezométricos sob o nível médio do mar. Nestes pontos, a vulnerabilidade dos aquíferos à intrusão salina é muito elevada e muitas vezes agravada pela exploração ilegal e não controlada de inertes para a construção civil.



Fig. 3.16. Exploração ilegal de inertes para a construção civil no leito das ribeiras junto às praias.

3.6 Principais usos da água subterrânea

A crescente pressão sobre os recursos hídricos na ilha de Santiago resulta sobretudo da expansão demográfica que se tem verificado nas últimas décadas, principalmente em torno da capital do país, a cidade da Praia. A água subterrânea tem constituído o principal recurso de água doce, sendo utilizada para vários fins, nomeadamente:

- Abastecimento público;
- Abastecimento para actividades económicas (hotelaria, pequenas indústrias, administração e comércio);
- Saneamento;
- Irrigação e pecuária.

3.6.1.1 Abastecimento público

Grande parte do uso da água subterrânea é destinada ao abastecimento público, principalmente porque se trata de uma ilha que conta com cerca de 55% da população do arquipélago e que praticamente não tem recursos de água superficial.

Apesar da taxa de infra-estruturas de abastecimento de água ser relativamente elevada na ilha, com uma cobertura de cerca de 70%, existe ainda actualmente uma baixa taxa de utilização de equipamentos públicos e de distribuição de água potável (ligação domiciliária, fontanário e camião-cisterna) comparativamente com as outras ilhas do arquipélago.

A distribuição de água potável no concelho da Praia (122 086 habitantes) provém principalmente da dessalinização de água (70%), das nascentes (10%) e dos furos de captação (20 %), que por sua vez chega ao consumidor através de condutas de adução e por camiões-cisternas. Nos concelhos do interior da ilha são os furos os meios predominantes no abastecimento público, estando estes equipados com meios motorizados de exploração de água, sendo a água posteriormente distribuída por camiões-cisternas.

Papel importante é desempenhado pelos fontanários, distribuídos um pouco por toda a ilha, mas com um papel fundamental no abastecimento das populações dos aglomerados populacionais mais rurais (Fig. 3.17).

Dependendo das condições de acesso à água na ilha de Santiago, o consumo médio diário por pessoa que pode variar entre os 12 e 64 litros, o que mostra bem a carência de água para uma parte importante da população.



Fig. 3.17. Fontanário para abastecimento de água à população de Ribeirão Chiqueiro e que explora o furo FBE-53.

3.6.1.2 Abastecimento para actividades económicas

Na ilha, o desenvolvimento industrial tem pouca expressão com particularidade na concentração destas actividades no concelho da Praia. Destacam-se indústrias de hotelaria, construção civil,

produção de energia eléctrica e as pequenas e médias indústrias do ramo alimentar. Estas unidades são abastecidas na sua maioria através da rede pública, uma vez que uma grande parte destas indústrias se situa na cintura urbana da cidade da Praia. Uma pequena percentagem é abastecida por furos particulares. Noutros concelhos da ilha as pequenas indústrias existentes são abastecidas na sua grande maioria por água subterrânea proveniente de furos de exploração.

3.6.1.3 Saneamento

A ilha de Santiago não dispõe de dispositivos importantes em termos percentuais no que concerne ao saneamento básico ligado à rede pública e estação de tratamento de água. Na ilha só 13,3% das habitações estão ligados à rede pública para a descarga das águas residuais (INE, 2000). Este índice sobe consideravelmente quando se analisa a cidade da Praia. Actualmente, na maioria dos concelhos da ilha de Santiago têm-se desenvolvido inúmeros projectos de saneamento básico, de que infelizmente não dispomos de dados objectivos.

Nas zonas rurais, o saneamento básico é feito através de latrinas melhoradas e abastecidas por águas provenientes de poços. Importa referir que infelizmente muitas vezes as ribeiras são utilizadas como locais de descarga de águas residuais e outros lixos.

3.6.1.4 Irrigação e pecuária

A superfície agrícola de Santiago é estimada em aproximadamente 21 500 ha, dos quais 20 150 ha são utilizados para cultivos que normalmente não necessitam de irrigação para além da água da chuva; e, entre 740 e 1 200 ha são utilizados para cultivos de irrigação.

As áreas agrícolas de cultivos de regadio podem ser distribuídas da seguinte forma (C.N.AG. - I.N.G.R.H., 1993): 220 ha no concelho do Tarrafal; 158 ha no concelho de Santa Catarina; 494 ha no concelho de Santa Cruz; e, 355 ha no concelho da Praia, sendo que as principais áreas agrícolas são abastecidas predominantemente por água subterrânea, proveniente de furos, poços e nascentes. Para a distribuição da água são utilizados canais ou sistemas de tubagens, normalmente com limite no tempo de bombagem e irrigação.

Muitos dos furos utilizados no abastecimento público são também aproveitados para irrigação. Na zona de Santa Catarina alguns destes furos, podem atingir profundidades próximas das três centenas de metros, e apresentar caudais de exploração elevados (40 m³/h durante 10 h/dia), contrariamente ao que acontece com os poços, que apresentam caudais reduzidos (3-5 m³/h durante 6 h/dia) e, correndo por vezes riscos, em períodos de maior estiagem na ilha dos seus caudais serem quase nulos.



Fig. 3.18. Utilização da água subterrânea para a irrigação dos cultivos.

De referir ainda que a escorrência superficial que ocorre na ilha de Santiago no período das chuvas, é muitas vezes retida e aproveitada nos diques de retenção que foram construídos um pouco por toda a ilha, com o objectivo de aumentar a recarga subterrânea e evitar que a totalidade da água de escorrência se perca ao mar. Assim, no período das chuvas, é habitual haver retenção de água nesses diques que é muitas vezes utilizada à posteriori para irrigação e dar de beber aos animais (Fig. 3.19).



(a) Ribeira Grande do Tarrafal durante a estação seca.



(b) Ribeirão Boi, após a época de chuvas.

Fig. 3.19. Diques de retenção de água de escorrência superficial.

3.7 Vulnerabilidade e risco de contaminação dos recursos subterrâneos

Os recursos de água subterrânea na ilha de Santiago apresentam, de um modo geral, uma elevada vulnerabilidade à contaminação, uma vez que os principais recursos subterrâneos predominam em formações de permeabilidades elevadas e não confinadas, a reduzidas profundidades e nas proximidades da orla costeira. Nas zonas mais altas da ilha, os recursos subterrâneos encontram-se a maiores profundidades, com espessuras de zona não saturada significativas, e por isso mais protegidos.

O risco de contaminação das águas subterrâneas está normalmente associado a processos de origem antrópica mas pode também resultar de processos naturais resultantes da interacção água-rocha em ambientes geoquimicamente muito reactivos.

As contaminações relacionadas com a actividade antrópica estão associadas principalmente aos seguintes factores: (1) intrusão salina; (2) poluição fecal; e (3) uso de fertilizantes e produtos fitossanitários na agricultura.

A intrusão salina é normalmente identificada em furos e poços com as seguintes características: estão localizados a altitudes reduzidas e na sua grande maioria a distâncias relativamente próximas do mar; captam água subterrânea a profundidades sob o nível médio da água do mar; e, captam em formações geológicas de permeabilidade elevada. Para além destes condicionantes, a situação é agravada por uma exploração excessiva dos recursos de água principalmente para irrigação de cultivos, sem respeitar o caudal e o número de horas de exploração máximo recomendado por dia.

A poluição fecal surge quer pela falta de uma rede de saneamento adequada quer pela prática de pastoreio livre de bovinos e caprinos que vão depositando excrementos nos terrenos. Esta situação acontece com maior intensidade nas ribeiras com mais água e onde o pasto permanece ao longo de quase todo o ano. Estas ribeiras são também aquelas onde o nível freático está mais próximo da superfície e onde existe um elevado número de captações susceptíveis de captar água contaminada por microorganismos.

A utilização de compostos químicos na agricultura, nomeadamente de fertilizantes e pesticidas, tem como objectivo o incremento da produção e a melhoria da qualidade de produtos agrícolas, quando relacionados com a produção hortícola, frutícola e na pastagem. Esta utilização de fertilizantes e produtos fitossanitários em zonas de regadio produz normalmente a sua lixiviação para as águas subterrâneas. A ausência de dados não permite quantificar o consumo de fertilizantes e pesticidas, mas permitiu identificar que os fertilizantes mais utilizados são os do tipo nítrico, tipo amoniacal e do tipo misto (nítrico-amoniacal).

4

RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A recarga de água subterrânea pode definir-se de forma muito sintética, como o volume de água de infiltração que atinge a zona saturada de um aquífero. Os processos de recarga de água subterrânea ocorrem normalmente na zona não saturada, a profundidade superior à da zona de influência das raízes das plantas, e podem estar relacionados com processos naturais como são a infiltração da água da chuva, de água superficial ou de água de rega, ou a transferência de água entre diferentes níveis aquíferos conectados hidráulicamente; ou, então, estar dependente de acções induzidas pelo próprio Homem, como é o caso da recarga artificial.

O cálculo da recarga de água subterrânea de um determinado sistema aquífero é uma das etapas importantes no cálculo de reservas e gestão sustentável dos recursos de água subterrânea de uma determinada região. Diversos autores têm tentado determinar os valores de recarga subterrânea para o arquipélago de Cabo Verde, quer utilizando métodos empíricos (Burgeap, 1974; Fernandopullé, 1979; Bossher, 1981; Dittrich, 1982; Burgeap, 1983; PNUD, 1992), quer métodos que implicam a realização de balanços hidrológicos (Fernandopullé, 1979; Burgeap, 1983; PNUD, 1992). Os valores a que chegam são muitas vezes díspares e revelam a dificuldade de encontrar um método adequado à estimativa da recarga de água subterrânea na região.

A recarga de água subterrânea na ilha de Santiago está fortemente condicionada pelo clima, com precipitações escassas e concentradas em períodos de tempo muito curtos e os característicos nevoeiros orográficos; o tipo de solos e a cobertura vegetal em geral bastante pobres; a geologia, com predomínio de formações vulcânicas com permeabilidades bastante reduzidas e fracturação variável; a geomorfologia, nomeadamente o relevo muito acidentado que favorece a escorrência de água à superfície; e, a hidrologia, caracterizada por linhas de água efémeras que na maioria das vezes só transportam alguma água na época das chuvas e em períodos tempo muito curtos que se seguem à ocorrência de chuvadas torrenciais.

4.1 Clima

O clima é o factor que assume a maior importância enquanto condicionador dos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos de uma dada região, uma vez que vai influenciar a própria

chuva e, depois, o escoamento superficial e a evapotranspiração, que por sua vez vão condicionar a taxa de infiltração e, conseqüentemente, a recarga dos aquíferos.

Nas últimas décadas o continente africano tem sido fustigado por secas severas e prolongadas, sobretudo na região do Sahel, na qual se enquadra o arquipélago de Cabo Verde. Esta região é particularmente vulnerável às alterações climáticas por se encontrar a sul de uma vasta faixa de clima desértico (nomeadamente, do deserto do Sahara) e onde sopram com carácter quase permanente os ventos alísios de nordeste. Dados existentes comprovam que o clima em Cabo Verde já foi mais húmido que actualmente, o que afecta a recarga de água subterrânea e a sustentabilidade dos recursos de água doce disponíveis no arquipélago (Fig. 4.1).

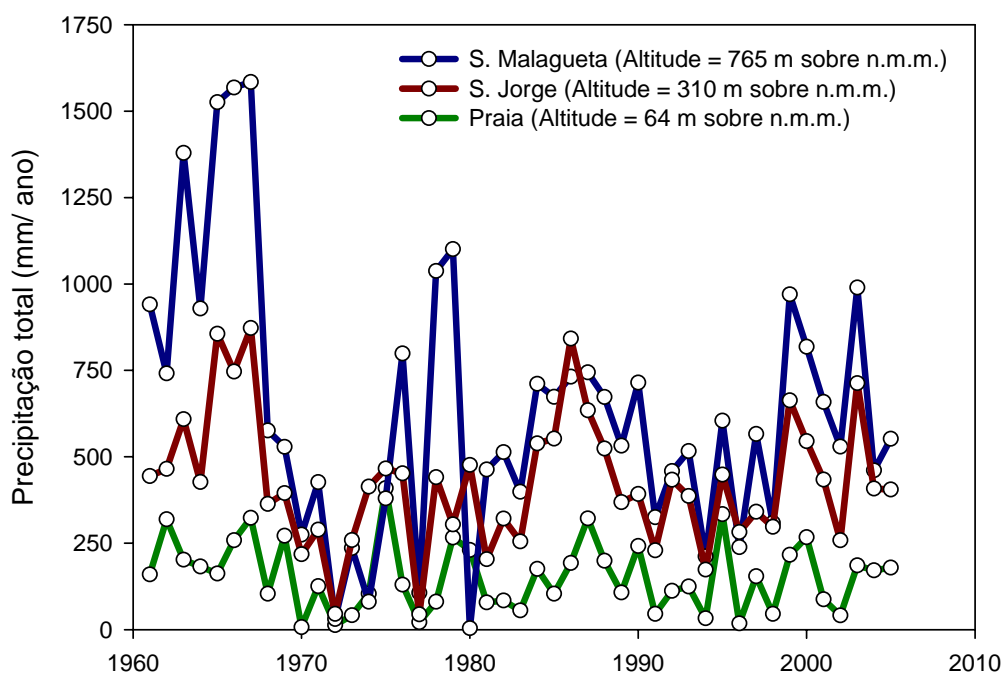


Fig. 4.1. Evolução da precipitação na ilha de Santiago desde 1963 à actualidade (dados medidos na cidade da Praia, S. Jorge e Serra da Malagueta).

O arquipélago de Cabo Verde fica situado numa zona de transição entre os centros de altas pressões subtropicais do Atlântico Norte (anticiclone dos Açores) e a zona de convergência intertropical (ZCIT) da África Ocidental. Da posição e orientação daquelas zonas de acção dependem as características das massas de ar que atingem o arquipélago (Amaral, 1964).

A posição norte extrema da zona de convergência intertropical sofre variações de ano para ano, sendo responsável pela grande variabilidade da precipitação em Cabo Verde. Quando se retém numa posição mais a sul do que é normal, a chuva que cai no arquipélago é escassa ou até nula; e, o fenómeno pode ocorrer anos seguidos.

Duas estações do ano principais definem o clima das ilhas, sendo a chuva o elemento climatológico principal na sua diferenciação: o 'tempo das brisas', de Dezembro a Junho, que corresponde à estação mais fresca mas também mais seca; e, o 'tempo das águas', de Agosto a Outubro e que normalmente corresponde à estação das chuvas. Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição.

Para além das condicionantes geográficas, as características meteorológicas da ilha de Santiago são ainda fortemente condicionadas por factores locais, como sejam: a altitude, a distância ao mar, o relevo, a forma e a estrutura insular. A altitude é mesmo das características geomorfológicas que mais influenciam o regime de precipitações, a temperatura do ar e a humidade na ilha de Santiago. A irregularidade das chuvas faz com que estas sejam o elemento mais caprichoso do clima, podendo haver anos ou séries de anos sucessivos de extrema seca.

4.1.1 Precipitação

Para a caracterização do regime de precipitações na ilha de Santiago existem dados disponíveis desde o início do século passado, embora a maioria dos postos udométricos e estações tenha sido instalada a partir de 1940. De realçar que se entre 1940 e 1970 havia, na ilha, quarenta estações em funcionamento, hoje elas estão reduzidas a menos de metade. Existem actualmente dezassete postos udométricos e cinco estações climatológicas (Tabela 4.1) cuja monitorização e manutenção está a cargo do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG).

Tabela 4.1. Coordenadas das estações meteorológicas (E.M) e postos udométricos (P.U.) da ilha de Santiago (Fonte: INMG, Praia)

N.º Inv.	Localidade	Tipo	UTM X (m)	UTM Y (m)	Altitude (m)	Distância à costa (km)
806125	Santana	P.U.	216 633	1 657 106	388	6879
806010	Trindade	P.U.	225 558	1 653 311	204	5620
806009	S. Francisco	P.U.	232 774	1 656 919	89	2757
806002	Praia Aeroporto	E.M.	232 691	1 649 539	64	0,719
806103	Currálinho	P.U.	220 263	1 660 753	818	12,515
806249	Capela Garcia	P.U.	225 643	1 660 691	290	9292
806248	Milho Branco	P.U.	229 229	1 660 650	162	6305
806012	S. Jorge dos Órgãos	E.M.	220 307	1 664 443	310	14,211
806074	Ponte Ferro	P.U.	222 140	1 664 422	230	1100
806097	Alto Casanaia	P.U.	218 514	1 664 465	543	12410
806123	Flamengos	P.U.	218 645	1 675 535	95	4475
806241	Mato Brasil	P.U.	211 567	1 683 003	475	2370
806013	Chão Bom	E.M.	204 790	1 688 088	16	1,132
806082	Serra Malagueta	P.U.	211 512	1 679 312	765	10,037
806005	Assomada	E.M.	213 202	1 670 065	462	11,290
806090	Telhal	E.M.	213 179	1 668 219	335	9540
806096	Babosa Picos	P.U.	218 535	1 666 310	454	14,698

Para este trabalho, foram recolhidas e tratadas séries de dados correspondentes aos últimos 35 anos (1970-2005), mas existem algumas lacunas. De referir que só os postos localizados no aeroporto da cidade da Praia, Assomada, São Francisco, São Jorge, Chão Bom, Babosa Picos, Curralinho e Serra Malagueta têm séries de dados completas.

Da análise da distribuição espacial dos postos udométricos e das estações meteorológicas na ilha de Santiago pode-se concluir que não estão distribuídos de forma uniforme, nem seguem a recomendação de Linacre (1992) de um ponto de observação por cada 25 km² em ilhas montanhosas. De facto, é notória a ausência de postos e estações na parte oeste da ilha, como se pode observar na Fig. 4.2.

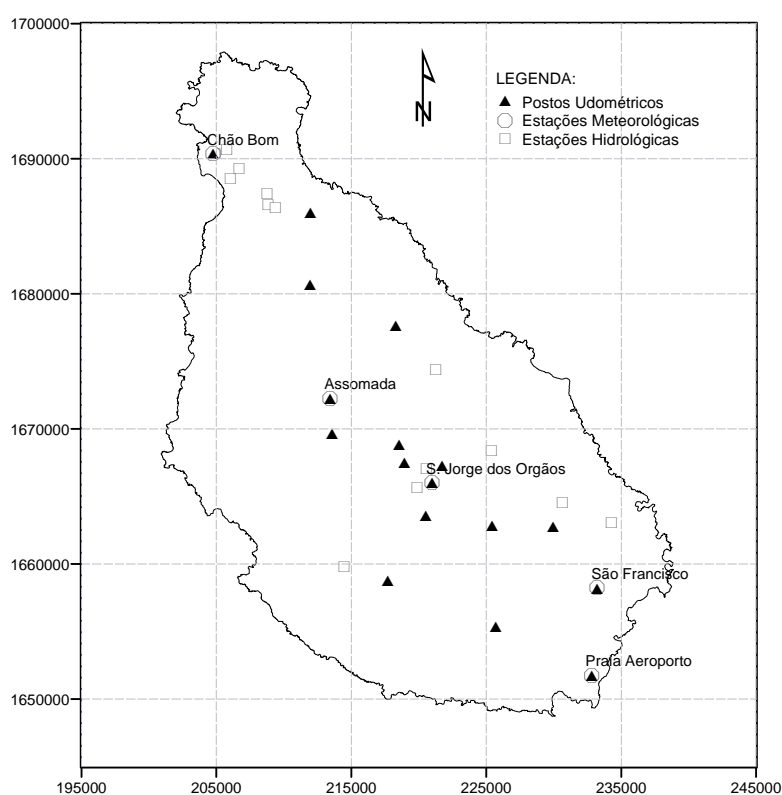


Fig. 4.2. Localização dos postos udométricos e estações meteorológicas na ilha de Santiago (coordenadas UTM em metros).

A constância das temperaturas e das pressões, a humidade atmosférica relativamente elevada, a regularidade dos ventos alísios, permitiriam supor que as chuvas na ilha de Santiago seriam também muito regulares. Se considerarmos ainda o facto de o arquipélago ser 'visitado' durante a época das chuvas (Julho a Outubro) por uma das massas de ar mais pluviosas que se conhecem (a monção do Atlântico Sul), era de supor que existiriam condições para a ocorrência regular de precipitações nesta região.

No entanto, a precipitação é, como já foi dito, o elemento mais caprichoso do clima. Um ano de boas chuvas pode suceder a um ano muito seco; num determinado mês o valor da precipitação pode até ser nulo ou variar até três vezes mais do que a média, correndo as águas nos leitos normalmente secos e arrastando as terras aráveis sem protecção, provocando erosão acentuada e destruindo os cultivos.

Duas áreas vizinhas, muito embora possam ter condições geográficas semelhantes, podem registar precipitações muito diferentes. E, não raras vezes, 'o habitante da ilha vê, com grande tristeza, chover no mar, sem que uma gota de água venha dessedentar a terra seca, onde as culturas começam a estiolar-se' (Amaral, 1964).

A ilha de Santiago é caracterizada, por vezes, por chuva de pequena duração e muito violenta, originando assim um escoamento superficial e evaporação significativos, pouco contribuindo para a recarga dos aquíferos. Outras vezes, são chuvas de média intensidade e de duração prolongada, e que, por isso, são as quais se apresentam assim como as de maior importância para a renovação dos recursos de água da ilha.

O regime de precipitações caracteriza-se sobretudo pela sua variabilidade e por se concentrar num período de tempo relativamente curto, normalmente entre Agosto e Outubro, enquanto no resto do ano os valores da precipitação podem ser praticamente nulos. Os valores da precipitação média anual para a ilha de Santiago são de 363 mm/ano, mas apresentam uma variabilidade espacial significativa como se pode verificar pela análise da Fig. 4.3, e que resulta da influência da altitude (Fig. 4.4) e da distância à costa (Fig. 4.5) no regime de precipitações.

Podemos observar que os pontos onde foram registados os valores de precipitação mais elevados, como é o caso da Serra Malagueta e do Curralinho, estão localizados a maiores altitudes. Assim, segundo a relação de valores observados na Fig. 4.4, de localidade para localidade, aumentam os valores da precipitação à medida que aumenta a altitude, sendo evidente uma boa correlação entre os dois parâmetros.

As médias anuais em zonas litorais como nos postos de Praia-Aeroporto, com 155 mm e 64 metros de altitude e Chão Bom, com 195 mm e 16 metros de altitude, distinguem-se claramente dos de São Jorge, com 414 mm e 310 metros de altitude, e dos da Serra Malagueta, com 636 mm e 765 metros de altitude e do Curralinho com 475 mm e 818 metros de altitude.

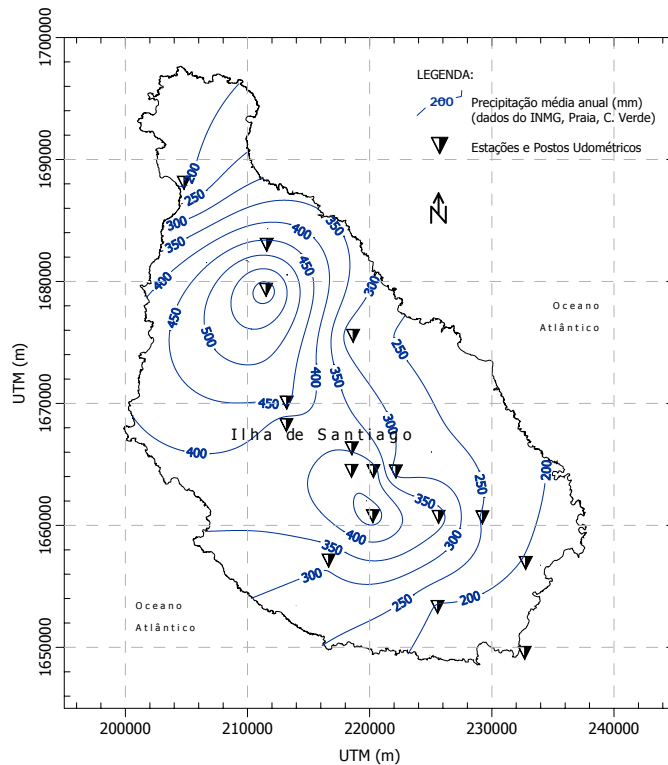


Fig. 4.3. Mapa de distribuição da precipitação média anual da ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados entre 1970-2005).

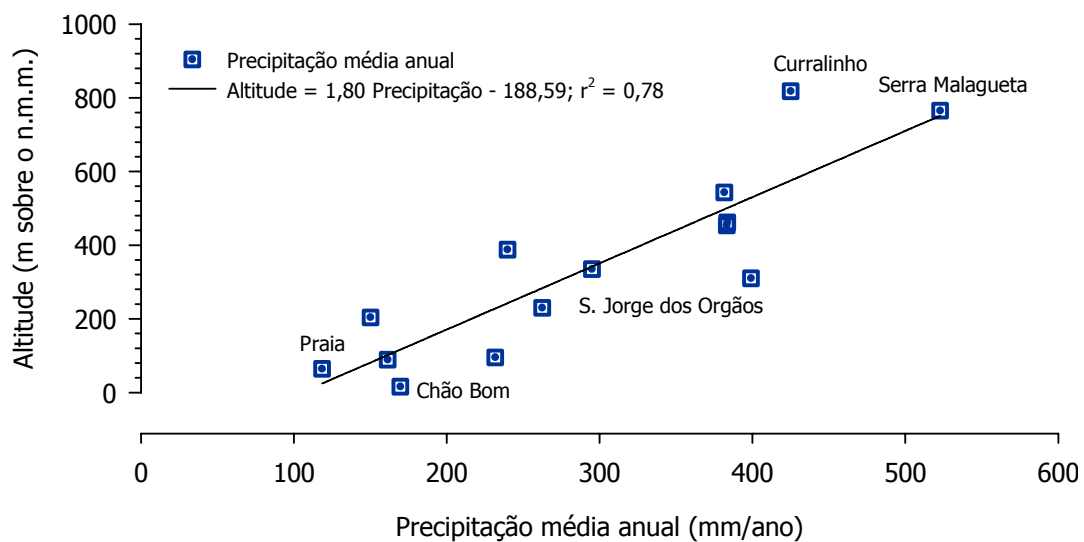


Fig. 4.4. Relação entre precipitação média anual e a altitude na ilha de Santiago (série de dados entre 1970-2005).

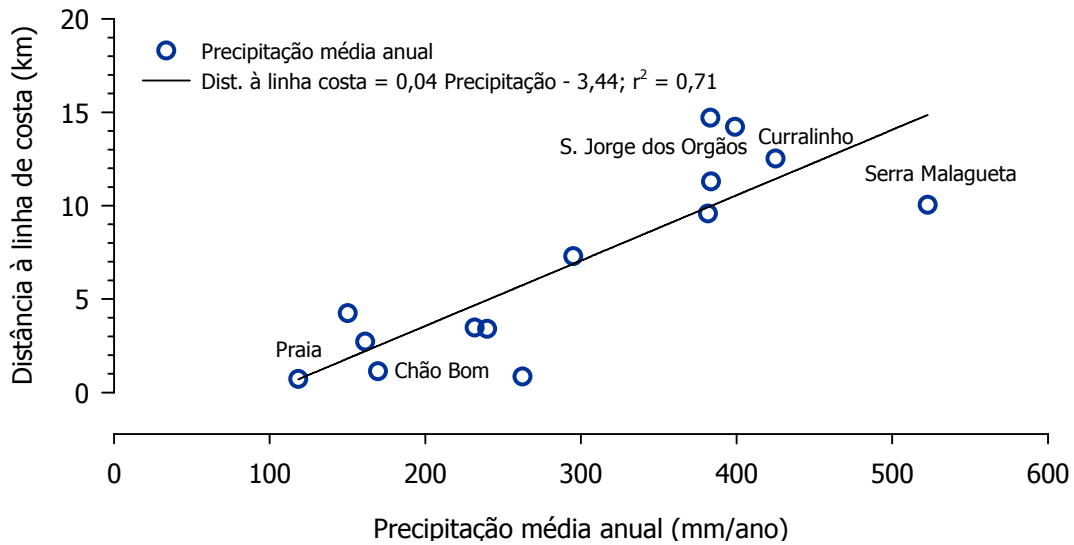


Fig. 4.5. Relação entre precipitação média anual e a distância à costa na ilha de Santiago (série de dados entre 1970-2005).

A verificação desta correlação estreita entre a precipitação e a altitude (Fig. 4.4), e as conseqüências ao nível da distribuição da vegetação na ilha de Santiago (assim como no resto do arquipélago), conduziu à definição de zonas bioclimáticas com características diferentes (CNAG – INGRH, 2000):

- Zona árida, do litoral entre 0 a 200 m de altitude, de carácter desértico com uma precipitação anual inferior a 300 mm e com uma vegetação do tipo herbáceo.
- Zona semi-árida situa-se entre os 200 – 400 m de altitude, com uma precipitação inter-anual que oscila entre 300 – 400 mm. Embora esta zona seja marginal para a agricultura, esta é aqui praticada em forma de culturas de subsistência nos anos de boa pluviometria. A vegetação natural em pouco difere daquela da zona árida, embora seja mais diversificada.
- Zona semi-húmida localizada entre 400 a 600 m de altitude, com uma precipitação inter-anual que oscila entre 400-600 mm. Esta zona é mais vocacionada para a agricultura, podendo encontrar-se aqui várias espécies lenhosas, arbustivas e arbóreas, disseminadas pelos campos agrícolas. De realçar que nos postos udométricos localizados em altitudes superiores a 400 metros, raros são os anos cujos registos indiquem valores de seca extrema.
- Zona húmida, situada acima dos 600 m de altitude, com uma precipitação média anual superior a 600 mm. Em termos de produção agrícola é a mais produtiva, não só na ilha de Santiago mas também nas ilhas de Santo Antão, São Nicolau e Fogo.

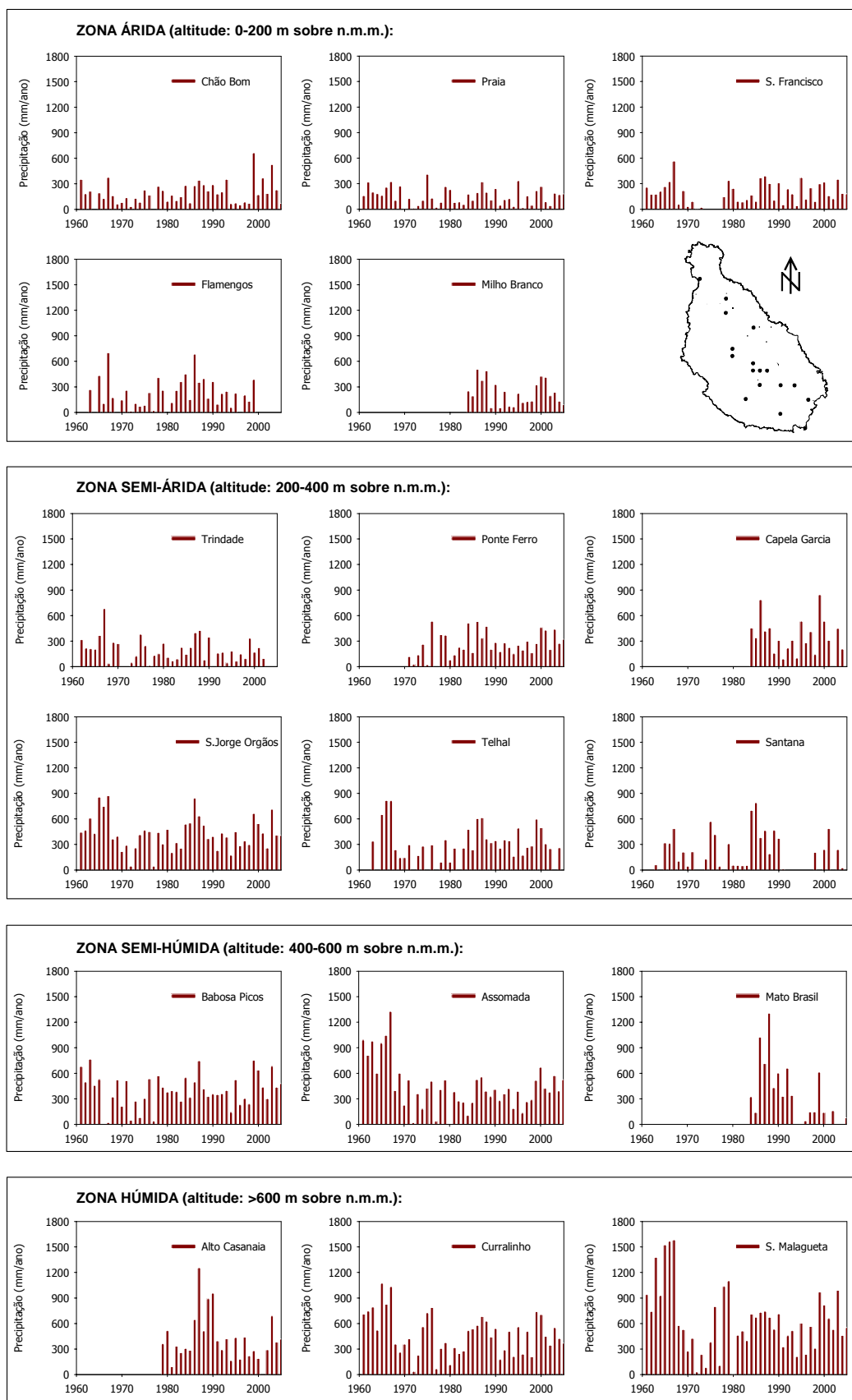


Fig. 4.6. Evolução da precipitação anual em pontos de monitorização localizados nas diferentes zonas bioclimáticas da ilha de Santiago (dados do INMG, Praia; série de dados entre 1960-2005).

4.1.2 Temperatura

Na ilha de Santiago, a temperatura atmosférica é determinada pela combinação de factores tão diversos como a exposição dos relevos, a altitude e a distância ao mar. Os dados de temperatura disponíveis para a ilha de Santiago correspondem às estações meteorológicas da Praia-Aeroporto (32 anos), Assomada (14 anos), S. Francisco (21 anos), S. Jorge dos Órgãos (23 anos) e de Chão Bom (20 anos) (Tabela 4.2). O número limitado de estações meteorológicas existentes condiciona naturalmente a análise da distribuição espacial das temperaturas atmosféricas na ilha (Fig. 4.7).

Tabela 4.2. Valores médios mensais da temperatura para as estações e períodos indicados (Fonte: INMG, Praia)

Estação Meteorológica	Período	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Praia Aeroporto	1973-2005	22,9	23,0	23,6	24,0	24,7	25,6	26,1	27,1	27,4	27,2	26,1	24,1
Assomada	1987-2001	18,7	19,1	19,6	19,8	20,6	21,7	22,2	23,1	23,4	22,9	21,9	20,0
S. Francisco	1980-2001	22,1	22,1	22,7	23,0	23,7	24,7	25,4	26,4	26,7	26,4	25,4	23,5
S. Jorge dos Órgãos	1981-2004	19,6	20,0	20,7	21,4	22,4	23,6	23,9	24,6	24,7	23,9	22,5	20,8
Chão Bom	1981-2001	23,2	22,7	23,0	23,7	24,1	24,9	25,7	26,5	26,9	26,9	26,0	24,6

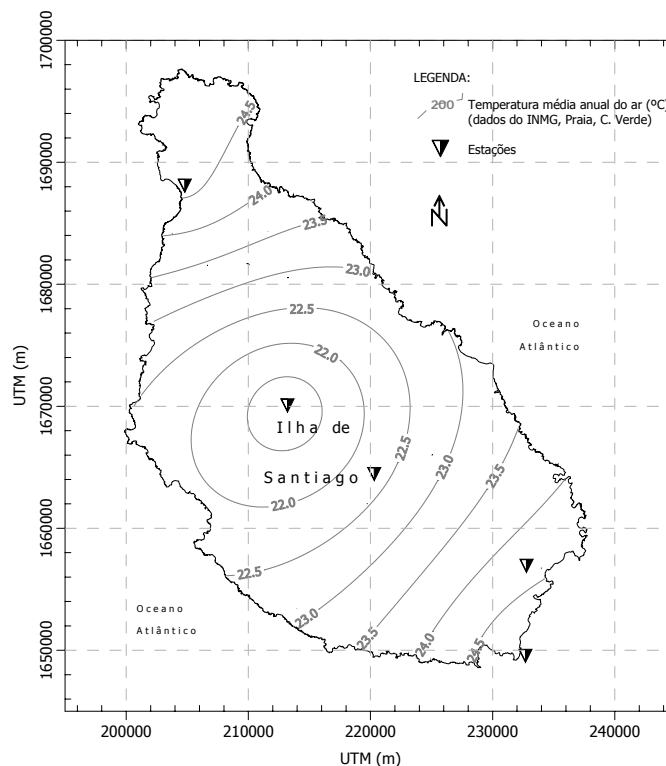


Fig. 4.7. Mapa de distribuição da temperatura média anual da ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados disponíveis para cada uma das estações).

A temperatura média anual na ilha de Santiago é de 24,2 °C, variando entre um intervalo muito restrito de valores, de um mínimo de 21,0 °C e um máximo de 25,1 °C (Fig. 4.8). Verifica-se que existe um zonamento da temperatura com a altitude, sendo que os valores mais baixos de temperaturas determinados na zona de estudo se verificaram na estação localizada a maior altitude (Assomada) (não existem dados de temperatura para nenhum dos postos udométricos localizados a mais de 600 m de altitude) e os valores mais altos se verificam nas duas estações meteorológicas localizadas mais próximas da costa e a menor altitude (Praia e Chão Bom).

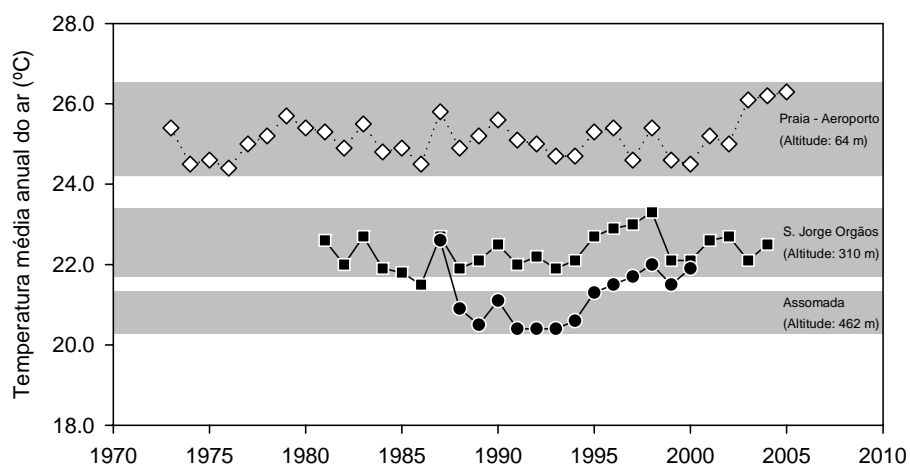


Fig. 4.8. Comparação entre as temperaturas médias anuais do ar medidas na estação meteorológica do aeroporto da cidade da Praia, S. Jorge dos Órgãos e Assomada (série de dados entre 1981-2005).

Uma vez que os dados de temperatura disponíveis correspondem a intervalos de tempo diferentes, optou-se por analisar mais detalhadamente os registos das temperaturas médias mensais e anuais, relativos ao período de 1981–2004, nas estações de S. Jorge dos Órgãos e Praia-Aeroporto, por estes incluírem as séries de dados de temperatura do ar mais completas das disponibilizadas pelo INMG.

No período de 1981-2004, os valores de temperatura registados nas estações Praia-Aeroporto e S. Jorge dos Órgãos têm uma média anual de 25,1 °C e 22,2 °C, respectivamente, variando pouco de ano para ano (Fig. 4.8). Na estação meteorológica da Praia-Aeroporto, a temperatura média anual variou entre um mínimo de 24,5 °C (em 1986) e um máximo de 26,2 °C (em 2004); enquanto em S. Jorge dos Órgãos a temperatura variou entre um mínimo 21,5 °C (em 1986) e um máximo de 23,3 °C (em 1998).

As temperaturas médias mensais são também muito regulares, com amplitudes térmicas anuais de 4,6 e 5,1 °C para a Praia-Aeroporto e S. Jorge dos Órgãos, respectivamente (Fig. 4.9). A temperatura aumenta gradualmente de Janeiro a Maio, mantendo-se quase estável entre os meses de Junho e Julho, a partir do qual volta a subir gradualmente até Setembro, mês em que se inicia

a descida de temperatura até Janeiro. Os meses de Novembro a Maio são os que registam temperaturas mais baixas, inferiores à média anual. Na estação da Praia Aeroporto, Setembro é o mês mais quente (27,5 °C) e Janeiro o mês mais frio (22,9 °C). Em S. Jorge dos Órgãos, as temperaturas máximas e mínimas mensais são inferiores (Setembro é o mês mais quente, com 24,7 °C e Janeiro o mês mais frio, com 19,6 °C).

Na ilha de Santiago as temperaturas mínimas verificam-se por volta das 5-6 horas da manhã e, a partir daí, vão aumentando gradualmente até às 13-14 horas, altura em que atingem o pico, voltando a diminuir gradualmente com o cair do dia, atingindo o mínimo de madrugada.

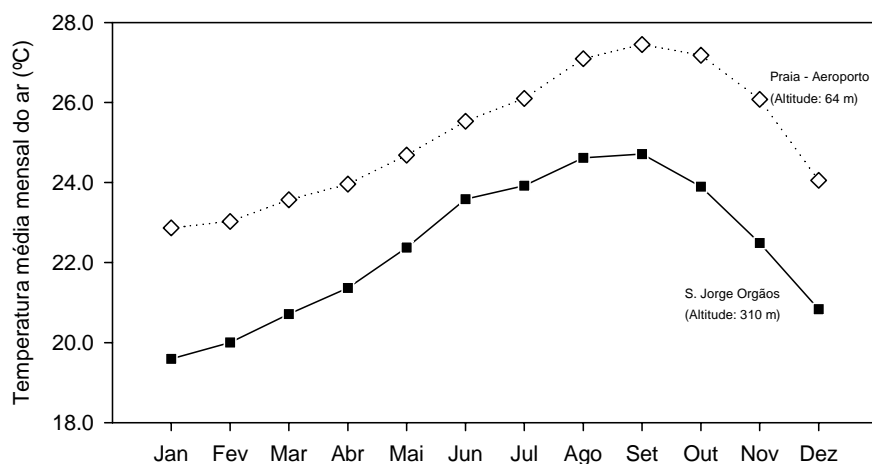


Fig. 4.9. Comparação entre as temperaturas médias mensais do ar medidas na estação meteorológica do aeroporto da cidade da Praia e em S. Jorge dos Órgãos (série de dados entre 1981-2005).

4.1.3 Humidade relativa

A regularidade das temperaturas, dos ventos e das pressões é geralmente acompanhada por valores de humidade relativa geralmente elevados (>67,5%). As massas de ar marítimo que envolvem a ilha, proporcionando-lhe uma cobertura de nuvens, mantêm-se sobre Santiago durante quase todo o ano, com tendência a tornarem-se mais densas com o aumento das temperaturas diárias.

Em função dos dados disponibilizados pelo INMG, foram calculados para o período de 1982-2001, os valores médios anuais e mensais da humidade relativa com base nas observações registadas nas estações do aeroporto da cidade da Praia, S. Francisco, S. Jorge dos Órgãos e Chão Bom. A determinação da escolha deste período reside no facto de estas séries serem as mais completas, uma vez que a partir de 2001 a maioria das estações deixa de registar estes dados, salvo as estações do aeroporto da cidade da Praia e em S. Jorge dos Órgãos.

Os valores médios anuais da humidade relativa variam entre um mínimo de 68% e um máximo de 79%, sendo que a média é de 74% (Fig. 4.10). De realçar que, em geral, à medida que nos deslocamos para as regiões mais altas do interior da ilha, a humidade relativa aumenta (Fig. 4.11) enquanto a temperatura vai diminuindo. No entanto, a estação meteorológica de Chão Bom localizada a uma distância de apenas 1,1 km da costa e a uma altitude de 16 m sobre o nível médio do mar, regista os valores de humidade relativa mais elevados da zona de estudo, devido provavelmente ao facto de se encontrar no sopé da Serra da Malagueta.

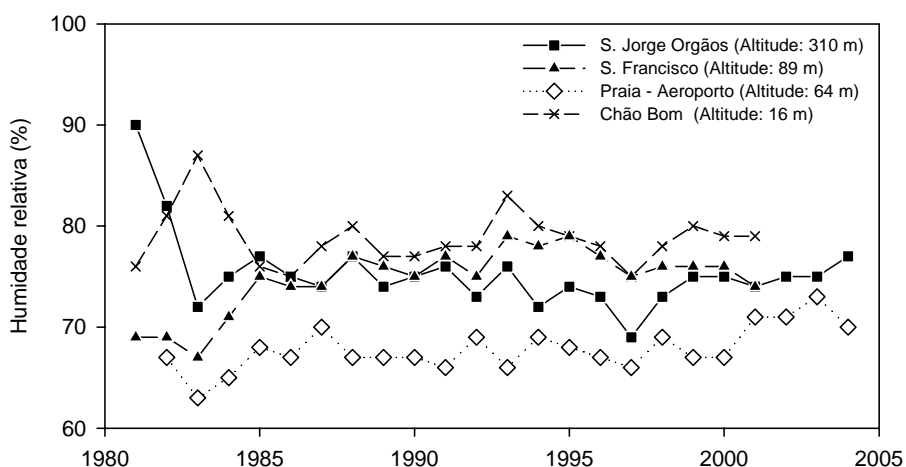


Fig. 4.10. Comparação entre os valores médios anuais das humidades relativas medidas em diferentes estações meteorológicas da ilha de Santiago (série de dados entre 1982-2001).

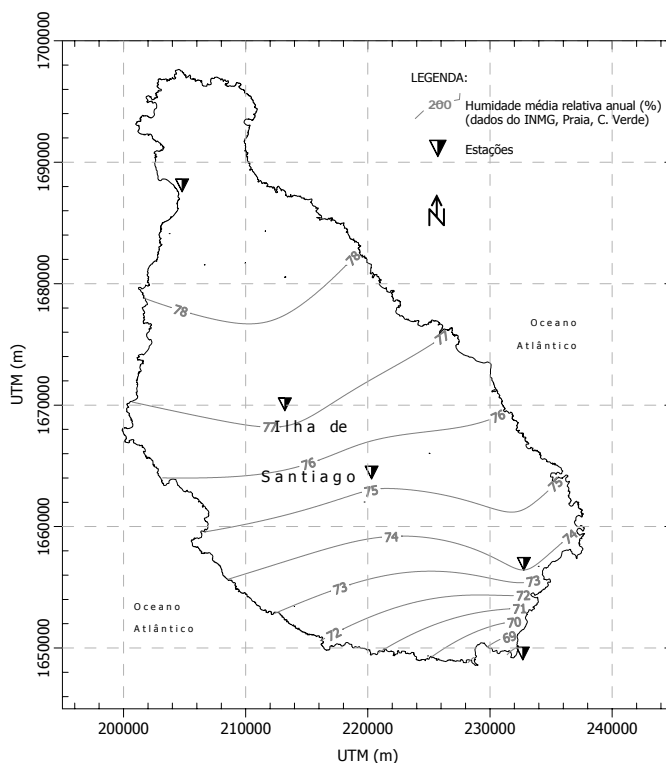


Fig. 4.11. Mapa de distribuição dos valores médios anuais de humidade relativa na ilha de Santiago.

Ao longo do ano, a humidade relativa média mensal cresce de um mínimo em Março e vai aumentando até atingir o máximo no mês de Setembro; a partir de Outubro, começa a decrescer novamente até Fevereiro (Fig. 4.12).

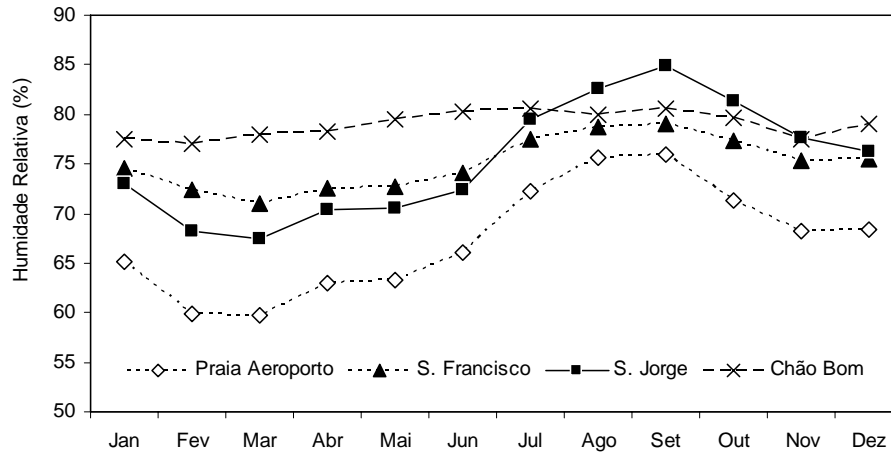


Fig. 4.12. Comparação entre os valores médios mensais das humidades relativas medidas em diferentes estações meteorológicas da ilha de Santiago (série de dados entre 1982-2001).

Devido aos elevados valores de humidade nas zonas mais altas da ilha, têm sido realizados diversos ensaios experimentais de intercepção e captação de água das nuvens e do nevoeiro para aproveitamento agrícola. Estas experiências consistiram em utilizar telas metálicas e de plástico, de dimensões variáveis, instaladas a altitudes compreendidas entre os 850 e os 1200 metros de altitude.

Os resultados obtidos por diversos investigadores (Cunha, 1964; Juvik, 1988; Sabino & Nascimento, 1990; Sabino, 1999) têm sido encorajadores e revelam que a quantidade de água recolhida da intercepção do nevoeiro e das nuvens (designada por diversos autores por precipitação oculta ou precipitação horizontal) é em geral superior à quantidade de precipitação líquida num mesmo período de tempo.

Em 1987, investigadores da Universidade de Hawai realizaram ensaios experimentais de captação da água das nuvens na Serra da Malagueta na ilha de Santiago (Juvik, 1988). A série temporal (dois meses de Verão) com que trabalharam permitiu-lhes obter volumes médios de água diários de 10 l/dia/m². Os resultados obtidos por Juvik (1988) são comparáveis aos de Cunha (1964) que apontavam para a possibilidade de recolha de um caudal diário que rondaria os 1500-2000 m³/dia.

Sabino (2004) calcula com base nos resultados das experiências de intercepção e precipitação da água de nevoeiro realizadas desde 1962 na ilha de Santiago, que se poderia obter um volume médio de água de 3 420 m³/dia (considerando uma área de influência de nevoeiros de

300 Ha), suficiente para abastecer pequenos núcleos populacionais e algumas explorações agrícolas da ilha. Este autor conclui que factores como a altitude, distância à costa, a velocidade do vento e a frequência dos períodos de seca são determinantes no volume de água recolhida.

Apesar dos resultados obtidos até hoje se poderem considerar animadores e de estudos realizados noutras regiões de climas áridos e semi-áridos do globo, confirmarem a importância da precipitação oculta, quer na recarga dos recursos de água subterrânea, quer como origem de água potável (Tabela 4.3), os projectos de intercepção e captação de água das nuvens e nevoeiro em Cabo Verde têm sido muitas vezes, e quase inexplicavelmente, abandonados. Foi este o caso também de uma nova estação experimental instalada em 2003, na Serra Malagueta, e que contou com o apoio dos municípios do Tarrafal e Santa Catarina (Fig. 4.13), não existindo actualmente qualquer instalação em funcionamento.

Tabela 4.3. Quantidade de água produzida a partir da intercepção do nevoeiro em diferentes locais do globo (Cereceda & Schemenauer, 1996 e Prada & Silva, 2001).

Local	Produção média diária (l/m ² /d)	Dias de nevoeiro por ano (d)	Produção anual (l/m ² /ano)
Chile	3.0	365.0	1 095
Peru	9.0	210.0	1 890
Oman	30.0	75.0	2 250
Equador	12.0	365.0	4 380
R. A. Madeira	21.3	234.8	5 001



Fig. 4.13. Ensaios experimentais de intercepção e captação de água das nuvens e do nevoeiro para aproveitamento agrícola na Serra da Malagueta.

No entanto, e mesmo sem quaisquer dispositivos de intercepção do nevoeiro actualmente em funcionamento, a natureza encarrega-se de nas zonas da ilha acima dos 800 m e com

vegetação, aproveitar a precipitação oculta para aumentar a humidade do solo e a infiltração profunda, e contribuir assim para aumentar a recarga de água subterrânea e manter os caudais de algumas nascentes e galerias.

4.1.4 Insolação

Os valores de insolação observados nas estações meteorológicas do aeroporto da cidade da Praia, S. Francisco, S. Jorge dos Órgãos e Chão Bom na ilha de Santiago, no período compreendido entre 1981-2001, revelam um número de horas de insolação em média superior a 7h/dia. Os meses de maior insolação são os de Abril, Maio e Junho onde se podem verificar valores de insolação superiores a 10 h/dia; os meses com menos horas de sol são os de Dezembro e Janeiro com valores que podem ser inferiores a 5 h/dia (Fig. 4.14).

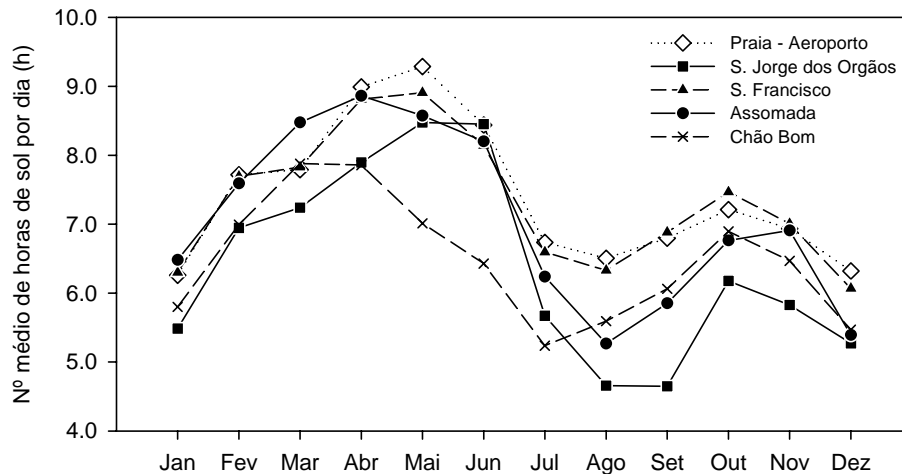


Fig. 4.14. Comparação entre número médio de horas de insolação medidos por mês em diferentes estações meteorológicas (série de dados entre 1982 - 2001).

Desde 1985 que o número médio de horas de insolação parece aumentar ligeiramente (Fig. 4.15). De realçar que em regiões costeiras ou de baixa altitude, como Praia-Aeroporto e Chão Bom, a insolação média anual é superior à das regiões mais elevadas, como S. Jorge dos Órgãos, e parece haver um ligeiro aumento do número médio de horas de sol por dia de norte para o sul da ilha (Fig. 4.16).

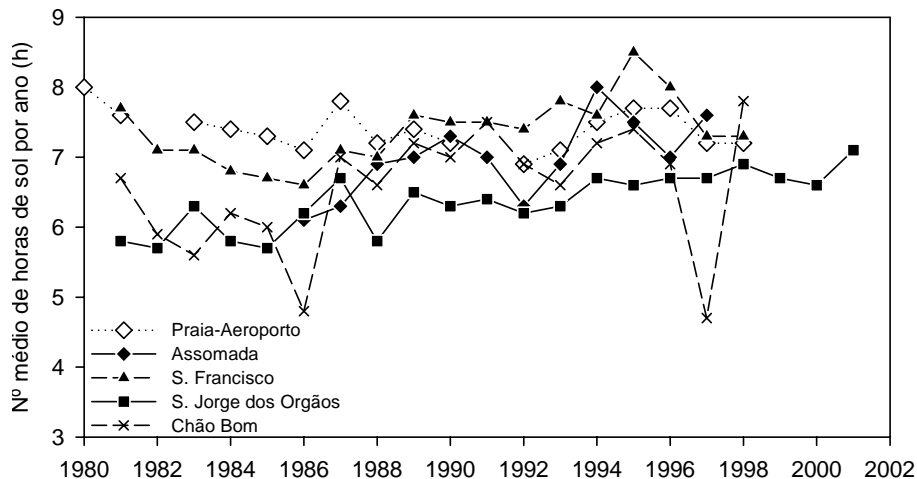


Fig. 4.15. Comparação entre número médio de horas de insolação medidos por ano em diferentes estações meteorológicas (série de dados entre 1982-2001).

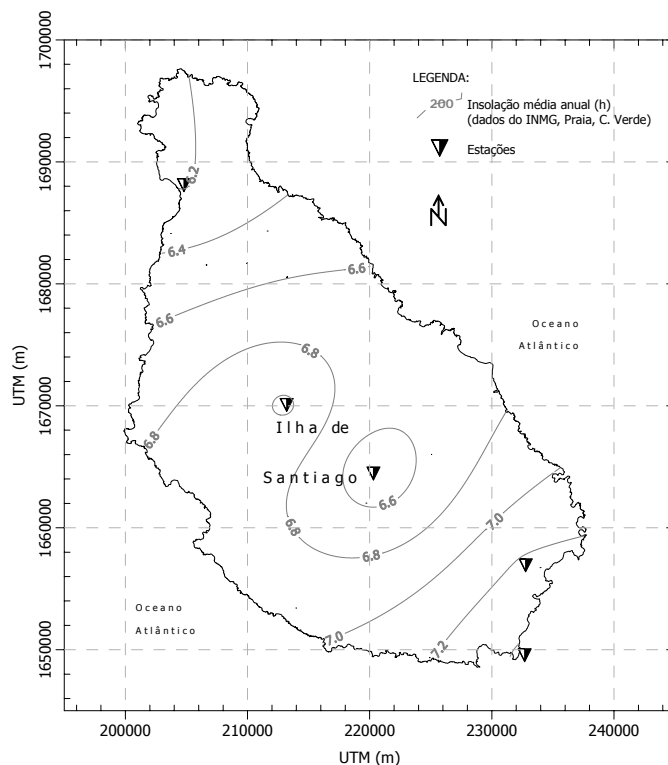


Fig. 4.16. Mapa de distribuição dos valores médios anuais de insolação na ilha de Santiago (médias calculadas para a série de dados disponíveis para cada uma das estações) (período de 1981-2001).

4.1.5 Vento

O vento é uma constante na ilha de Santiago e um dos factores climatológicos com mais influência na ocorrência ou não de precipitações, uma vez que estas resultam essencialmente da combinação e movimento periódico de três massas de ar (Cunha, 1960): (1) os ventos alísios de nordeste que

sopram grande parte do ano, que são ventos frescos e húmidos mas que normalmente não trazem chuva. No entanto, são importantes porque provocam, com frequência, os nevoeiros na encosta virada para nordeste, entre os 600 e 1000 m; (2) o vento Harmatão que sopra do interior do continente africano e que é um vento quente e seco, e que muitas vezes transporta grande quantidade de poeiras principalmente nos primeiros meses do ano; (3) os ventos da monção de sudoeste, que sopram entre Julho e Setembro, e são responsáveis pela curta estação das chuvas.

A velocidade média do vento ao longo do ano é variável de local para local (ventos em média de 1,2 m/s em S. Jorge dos Órgãos e 6.5 m/s na cidade da Praia), verificando-se que os ventos sopram mais fortes na parte sul da ilha (Fig. 4.17). Ao longo do ano, os meses menos ventosos são os de Julho a Outubro, enquanto nos restantes meses a velocidade do vento é aproximadamente constante.

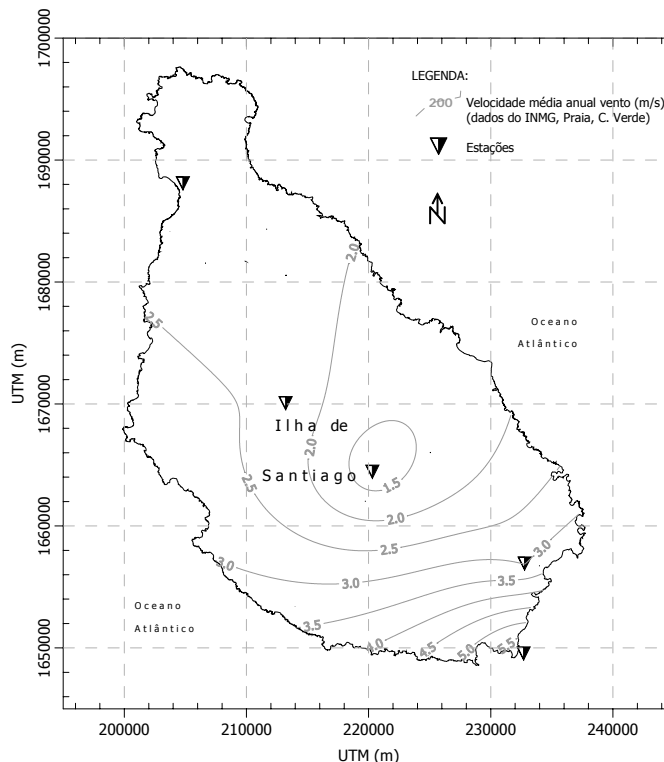


Fig. 4.17. Mapa de distribuição da velocidade média anual do vento na ilha de Santiago.

4.1.6 Solos

Os solos de origem vulcânica ocupam grande parte da superfície da ilha de Santiago e são, de uma forma geral, pouco evoluídos, pouco profundos e bastante pedregosos. São solos ligeiramente alcalinos e com um baixo teor de matéria orgânica, sendo contudo ricos em alguns minerais que se encontram bastante alterados (Costa, 1995).

Em Santiago, o clima, a geomorfologia e a fraca densidade da cobertura vegetal favorecem a erosão acentuada e, por vezes, diferencial dos solos. O contraste de clima entre a estação seca e a estação húmida origina processos diferenciados de erosão conforme a estação do ano. Precipitações intensas e concentradas em apenas alguns dias, durante os três meses do período das chuvas, originam ravinamentos generalizados nas vertentes, sob a acção da escorrência e desabamentos por corte lateral, nas margens côncavas dos vales. Durante a longa estação seca desencadeiam-se processos erosivos nas vertentes, sob a acção da gravidade, caso da queda de material fino da camada superficial do solo (Costa, 1995).

Ao longo dos tempos, a população desenvolveu várias acções para minorar os efeitos da erosão nas vertentes e nos fundos dos vales. Devem-se salientar os bons resultados obtidos com a construção de diques, que permitiram a regularização da drenagem, a retenção da carga sólida a montante e, conseqüentemente, o alargamento dos fundos, aumentando a área agrícola. Pelo contrário as infra-estruturas construídas nas vertentes são frequentemente destruídas pela escorrência ou constituem elas mesmas um factor acelerador do processo de ravinamento (Costa, 1995).

Do ponto de vista hidrológico, os diferentes tipos de solos vulcânicos que cobrem a ilha de Santiago apresentam capacidades de campo que se podem estimar entre 50 a 200 mm/ano (Fernandopullé, 1977) e taxas de infiltração médias que variam entre os 40 mm/h para os aluviões e os 40 a 80 mm/h para os basaltos BURGEAP (1974).

4.1.7 Vegetação

Apesar da pobreza da sua flora nativa, estimada em pouco mais de duas centenas de espécies, e do elevado número de espécies exóticas (mais de 400) que constituem hoje a flora do arquipélago de Cabo Verde, há que salientar o elevado número de espécies endémicas (mais de 80) cujas populações se encontram seriamente reduzidas fruto da destruição dos seus habitats naturais (Duarte, 1998).

As condições climáticas da ilha de Santiago dificilmente permitiriam a existência de um coberto arbóreo natural, a não ser uma vegetação adaptada ao clima, composta por gramíneas, espécies arbustivas e lenhosas. As acções de florestação iniciaram-se principalmente nas zonas altas como a Serra Malagueta (1929), Pico da Antónia (1935) e Rui Vaz (1941). Estima-se que em 1995, 80% das áreas arborizadas se situavam a altitudes correspondentes a zonas áridas e semi-áridas, e 20% a zonas húmidas e sub-húmidas. Os perímetros florestais de altitude são considerados de protecção pelo papel que desempenha na regularização do regime hídrico (escorrimento superficial e infiltração de águas pluviais) das bacias hidrográficas (CNAG-INGRH, 2000).

4.2 Hidrologia

Existem inúmeras linhas de água na ilha de Santiago divididas em cinco grandes bacias hidrográficas – Tarrafal (188 km²), Santa Cruz (355 km²), Santa Catarina (128 km²), São João Baptista (155 km²) e Praia (179 km²), que por sua vez se dividem em diversas sub-bacias (Fig. 4.18). As linhas de água têm na sua maioria um carácter temporário, sendo as principais excepções, as ribeiras de Santa Clara e São João Baptista, na bacia hidrográfica com o mesmo nome, e cujo caudal permanente está associado à interacção com níveis de água subterrânea.

O escoamento superficial na ilha de Santiago depende da relação entre a intensidade da precipitação, a permeabilidade e da capacidade de retenção do solo, e ainda do estado da humidade dos solos antes da chegada das chuvas. Assim, dependendo da maior ou menor importância destas condicionantes, estima-se que entre um 20 e 80% da precipitação total poderá constituir a escorrência superficial da ilha (Fernandopullé, 1977).

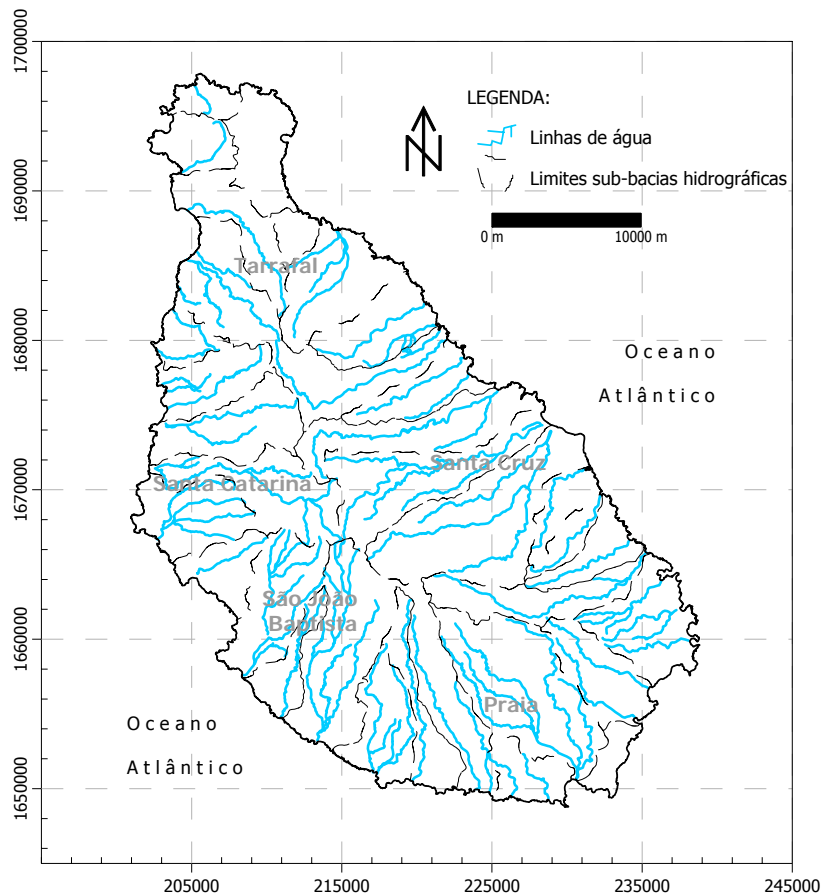


Fig. 4.18. Principais linhas de água e bacias hidrográficas da ilha de Santiago.

A escorrência superficial só se regista na ilha, na maioria das vezes, após a queda de precipitações superiores a 20-25 mm/dia, sendo que os dados pluviométricos confirmam que os meses de Agosto e Setembro são os mais propícios à ocorrência de escoamento superficial tal

como se está a verificar neste ano de 2008 (Fig. 4.19). Os acentuados desníveis topográficos da ilha (cerca de 30% na vertical e entre 10 a 50% nos perfis dos barrancos) assim como a forma das bacias, dão origem a tempos de residência da água muito curtos, da ordem de 3-4 horas e velocidades de escoamento geralmente superiores a 5 m/s. A concentração da escorrência superficial nos vales das ribeiras após a queda de precipitação é por isso geralmente muito rápida e violenta, mas de curta duração.



Fig. 4.19. Fotografias do efeito das chuvas intensas que caíram em Agosto-Setembro 2008 na ilha de Santiago (Fonte: <http://propriedade.blogs.sapo.cv/tag/santiago>).

O cálculo do volume total pluviométrico da ilha de Santiago foi feito a partir dos dados de precipitação disponíveis e das áreas das principais bacias hidrográficas (Tabela 4.4). Os dados obtidos confirmam a bacia de Santa Cruz como aquela com maior volume pluviométrico devido à sua grande extensão e precipitação média elevada para os valores da ilha, sendo nesta zona que se concentram uma parte importante das explorações agrícolas. A bacia de Santa Catarina também tem um volume pluviométrico importante, enquanto a bacia da Praia é a que apresenta menor volume pluviométrico, com a agravante de aqui se concentrar grande parte da população da ilha.

Tabela 4.4. Volume total pluviométrico da ilha de Santiago.

Bacia hidrográfica	Área (km ²)	Precipitação (mm/ano)	Estações meteorológicas	Volume pluviométrico total (hm ³)
Tarrafal	188	240	Chão Bom Ponte Ferro	45
Santa Cruz	355	340	Milho Branco São Jorge Capela Garcia	121
Santa Catarina	128	483	Assomada Telhal Serra Malagueta Curralinho	62
São João Baptista	155	304	Santana	47
Praia	179	182	Praia-Aeroporto Trindade S. Francisco	33
Ilha de Santiago	1005	363		308

Quando chove na ilha de Santiago, a maioria da água da chuva perde-se na escorrência superficial e por evapotranspiração, sendo que só uma pequena percentagem contribui realmente para a recarga subterrânea. No entanto, apesar de escassa, esta recarga subterrânea é muito importante para a recuperação dos níveis de água subterrânea na ilha e dos caudais das nascentes. Esta recuperação pode ocorrer imediatamente após a queda de precipitação (recarga directa) e/ou de forma retardada (1 a 3 meses, ou mesmo, 6 meses), devido ao tipo de formações geológicas e ao longo percurso a percorrer pela água da chuva, desde as zonas mais altas e centrais da ilha onde se infiltra até atingir a zona saturada em profundidade (recarga indirecta ou diferida) (Fig. 4.20).

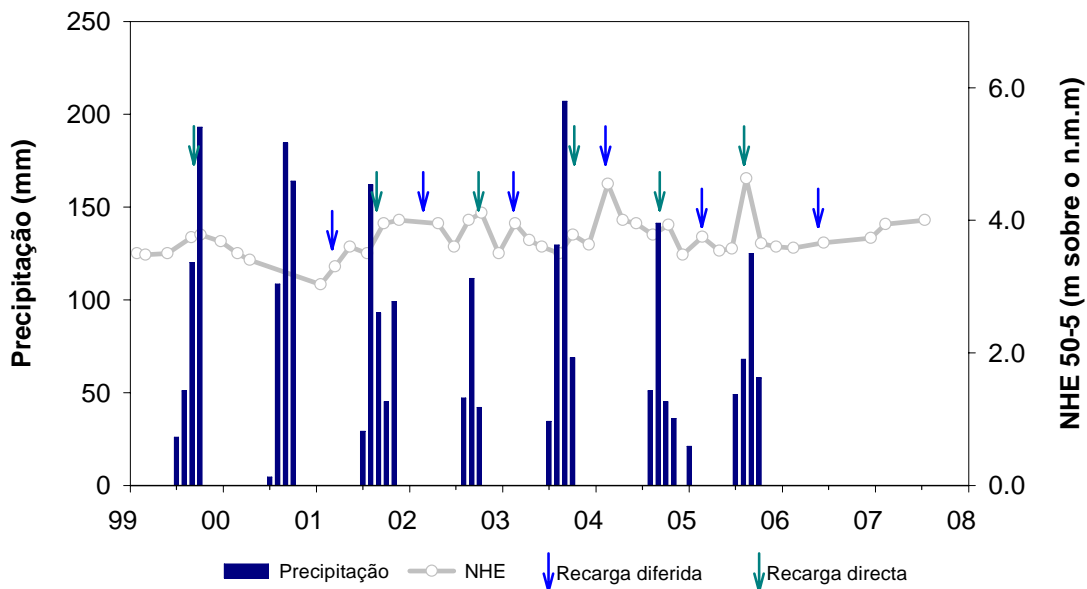


Fig. 4.20. Identificação do impacto da recarga directa e diferida na evolução do nível piezométrico no poço 50-5.

4.3 Área de recarga

As principais áreas de recarga subterrânea da ilha de Santiago estão localizadas na parte central e mais alta da ilha, onde: (1) ocorrem as principais precipitações e nevoeiros orográficos; (2) a evapotranspiração é menor; (3) predominam formações geológicas recentes (principalmente a formação do Monte das Vacas) e permeáveis que favorecem a infiltração directa da água da chuva.

No entanto, nas zonas mais baixas da ilha e próximas da costa também pode ocorrer recarga subterrânea importante. Isto acontece principalmente nas partes terminais dos vales das ribeiras onde se acumulam espessuras significativas de materiais aluvionares que constituem excelentes reservatórios de água (Fig. 4.21). Na altura das chuvas, quando estes vales das ribeiras

concentram grande parte da escorrência superficial da ilha, a infiltração de água superficial contribui aqui de forma significativa para a recarga subterrânea.



Fig. 4.21. Formações aluvionares recentes no Tarrafal.

Com base na informação geológica e hidrogeológica disponível, considerou-se como potenciais áreas de recarga na ilha de Santiago, todas as zonas onde afloram formações geológicas permeáveis da Unidade Recente (aluviões, eluviões, dunas, depósitos de vertentes e Formação do Monte das Vacas) e Unidade Intermédia (Complexo eruptivo do Pico da Antónia e Formação da Assomada) (Fig. 4.22). As formações geológicas da Unidade Base (Complexo Eruptivo Interno Antigo, Formação dos Flamengos e a Formação dos Órgãos) devido à sua reduzida permeabilidade não foram consideradas como áreas de recarga.

Recorrendo ao apoio de metodologias SIG, calculou-se que a extensão total da área de potencial recarga subterrânea na ilha de Santiago é de 803 km², sendo que 573 km² estão compreendidos entre os 0 e 400 m de altitude, 152 km² entre os 400 e 600 m de altitude e 77 km² acima dos 600 m. O Complexo eruptivo do Pico da Antónia é a formação geológica mais extensa da área de recarga onde ocupa 695 km² (87% da área total); as aluviões, eluviões, dunas e depósitos de vertente ocupam 43 km² (5,3% da área total); a Formação da Assomada ocupa 35 km² (4,4% da área total); e, a Formação do Monte das Vacas ocupa apenas 30 km² (3,7% da área total) mas é provavelmente uma das formações geológicas mais permeáveis.

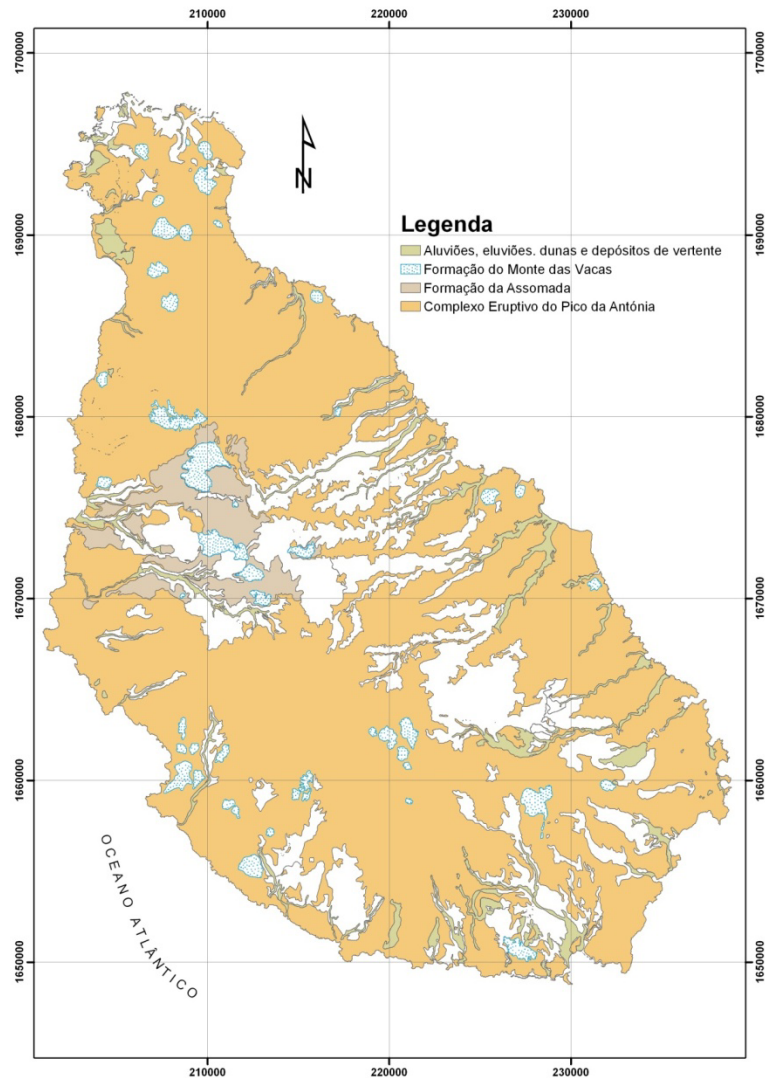


Fig. 4.22. Mapa das formações geológicas que constituem a área de recarga subterrânea na ilha de Santiago.

4.4 Métodos de cálculo da recarga

Nas últimas quatro décadas de trabalhos hidrogeológicos realizados na ilha de Santiago, diferentes autores tentaram aproximar os valores de recarga de água subterrânea com base em fórmulas empíricas que têm por incógnita o valor da precipitação média anual (Tabela 4.5). Estas fórmulas foram aplicadas em condições específicas a determinadas zonas ou à totalidade da ilha de Santiago, tendo revelado valores tão díspares e critérios de aplicação tão subjectivos que dificilmente se pode reconhecer a sua validade na estimativa da recarga subterrânea.

Daí que para o cálculo da recarga subterrânea na ilha de Santiago se tenham considerado no presente estudo métodos alternativos, que também apresentam limitações na sua aplicação principalmente devido à heterogeneidade da distribuição da precipitação, mas que têm por base a

realização de um balanço. Um é o método físico clássico de Penman-Grindley (Penman, 1950; Grindley, 1967) e o outro, um método químico, que se baseia na realização de um balanço de cloretos na zona saturada. Ambos os métodos e seus resultados encontram-se descritos nas secções seguintes.

Tabela 4.5. Fórmulas empíricas propostas por diversos autores e utilizadas para o cálculo da recarga na ilha de Santiago com base em dados actuais ($P=363$ mm/ano).

Fórmula Empírica	Autor	Recarga (mm/ano)
$I = 0,25 \times (P - 300)$	BURGEAP (1974)	16
$I = (0,1 \text{ a } 0,17) \times P$	Fernandopullé (1979)	36 a 62
$I = (0,15 \text{ a } 0,5) \times P$	BURGEAP (1974)	54 a 182
$I = (0,03 \text{ a } 0,18) \times P$	PNUD (1992)	11 a 65

4.4.1 Método de Penman-Grindley

O método de Penman-Grindley é um método convencional e usado com muita frequência para estimar a recarga subterrânea. O método foi inicialmente desenvolvido para calcular o deficit de humidade no solo e a evapotranspiração real mas permite uma estimativa da recarga subterrânea a partir do valor da precipitação efectiva. Este método considera que a água é armazenada como humidade do solo, e que esta pode ser aumentada por infiltração da precipitação ou reduzida por acção da evapotranspiração. Quando a capacidade de campo é atingida, o excesso de precipitação distribui-se pela escorrência superficial e pela recarga subterrânea.

Neste método, a equação de balanço de água no solo é definida para uma zona uniforme e um determinado intervalo de tempo, como:

$$P = ETR + R + \Delta S \quad [4.1]$$

↓

$$\Delta S = P - ETR - R \quad [4.2]$$

onde P é a precipitação [L], ETR é a evapotranspiração anual [L], R é a escorrência superficial [L L⁻²] e ΔS é a variação da água armazenada no solo [L].

A precisão deste método depende em grande parte da qualidade dos dados de entrada. O valor da evapotranspiração é um dos parâmetros críticos e pode ser determinado directamente a partir de tinas evaporimétricas ou calculado a partir de dados meteorológicos usando por exemplo as fórmulas de Penman (1948) ou de Thornthwaite (1948). Ambos os métodos calculam o valor da evapotranspiração potencial (ETP) e depois a evapotranspiração real (ETR), com base no balanço da água no solo.

Este método funciona melhor para climas húmidos com duas estações claramente diferenciadas, precipitação uniformemente distribuída, em áreas com solos bem desenvolvidos e que nunca secam completamente. Em zonas áridas ou semi-áridas como o arquipélago de Cabo Verde, este método enfrenta grandes dificuldades resultantes principalmente dos longos períodos de tempo em que a evapotranspiração real é muito inferior à potencial, e quase igual à precipitação, não havendo por isso e segundo o método, condições para que ocorra recarga subterrânea.

4.4.1.1 Aplicação do método

O método de Penman-Grindley foi usado para calcular a recarga subterrânea na ilha de Santiago. No entanto, e para que o método pudesse ser aplicado, dividiu-se a ilha em três zonas segundo a altitude: até 400 m de altitude (inclui zona árida e semi-árida), de 400-600 m (zona semi-húmida) e mais de 600 m (zona húmida). Para cada uma destas três zonas utilizaram-se os valores dos dados meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração potencial (precipitação, temperatura, velocidade do vento, insolação, humidade) da estação meteorológica mais representativa da zona climática. Neste caso, a estação meteorológica da Praia para a zona árida e semi-árida, a de S. Jorge dos Orgãos para a zona semi-húmida e a da Serra Malagueta para a zona húmida.

A evapotranspiração potencial foi determinada por três métodos: (1) a partir do valor da evaporação na tina evaporimétrica (ou, no evaporímetro de Piche no caso de S. Jorge dos Orgãos, onde não se dispunha de dados suficientes de evaporação na tina) e aplicando um factor de correcção segundo a bibliografia (0,45 e 0,66 para os dados da Serra da Malagueta e Praia, respectivamente); (2) método de Penman; e, (3) método de Thornthwaite. Uma comparação dos valores médios mensais de evapotranspiração potencial calculados por estes três métodos para as diferentes zonas climáticas da ilha de Santiago é apresentada na Fig. 4.23.

Com base nos dados de evaporação da tina evaporimétrica ou do evaporímetro de Piche (no caso dos dados de S. Jorge dos Orgãos), o valor de evapotranspiração potencial calculado varia entre um máximo de 1034 mm/ano na zona árida e semi-árida (Praia), 936 mm/ano na zona semi-húmida (S. Jorge dos Orgãos) e um mínimo de 705 mm/ano na zona húmida (Serra Malagueta). Realizando o cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Penman obtêm-se valores que variam entre 1298 mm/ano na zona árida e semi-árida (Praia), 714 mm/ano na zona semi-húmida (S. Jorge dos Orgãos) e 811 mm/ano na zona húmida (Serra Malagueta). Enquanto pelo método de Thornthwaite se obtêm valores que variam de 1687 mm/ano na zona árida e semi-árida (Praia), 1204 mm/ano na zona semi-húmida (S. Jorge dos Orgãos) e 1203 mm/ano na zona húmida (Serra Malagueta).

Da comparação dos resultados obtidos e representados na Fig. 4.23, pode-se ainda concluir que as variações sazonais dos valores de evapotranspiração potencial são muito mais significativas a baixas altitudes do que a altitudes mais elevadas. Durante o ano, os meses de Julho, Agosto e Setembro apresentam normalmente valores de evapotranspiração potencial mais elevados, enquanto Novembro, Dezembro e Janeiro são os meses em que os valores calculados de evapotranspiração potencial são mais baixos. Dos três métodos testados, o de Penman parece ser aquele que dá valores mais realistas, embora na zona árida e semi-árida devido à escassez de precipitação, qualquer um dos métodos seja de difícil aplicação e validação.

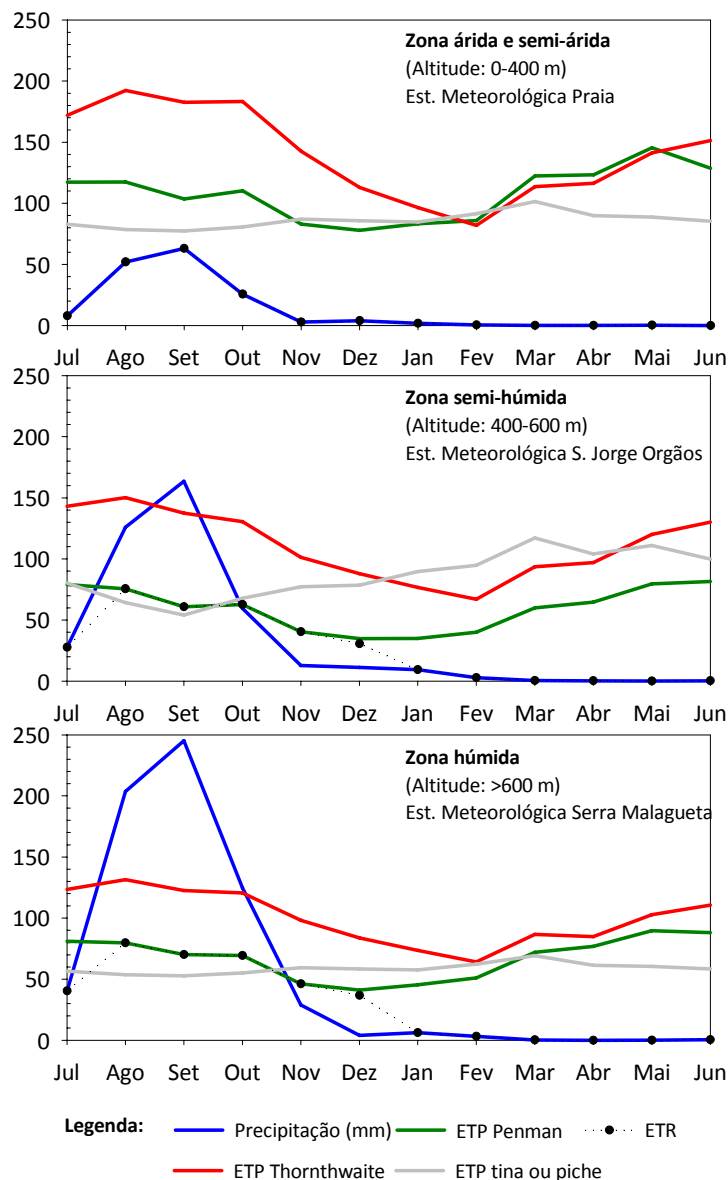


Fig. 4.23. Comparação dos valores de precipitação, evapotranspiração potencial calculados por diferentes métodos (Penman, Thornthwaite e medições da tina evaporimétrica e/ou evaporímetro de Piche) e evapotranspiração real.

Qualquer um dos valores de evapotranspiração potencial calculados excede em muito os valores médios anuais da precipitação, em particular, no caso dos dois métodos que estimam valores mais elevados de evapotranspiração potencial, o de Thornthwaite e o da tina evaporimétrica. No entanto, há alguns meses na zona semi-húmida e húmida da ilha em que a precipitação excede a evapotranspiração potencial e portanto haverá possibilidade de ocorrer escorrência superficial e recarga subterrânea.

Nas Tabelas 4.6 a 4.8 são apresentados os cálculos dos balanços hidrológicos realizados a partir dos valores das variáveis meteorológicas e dos valores de evapotranspiração potencial calculados para cada uma das zonas climáticas. Pode verificar-se que nos meses de Agosto a Outubro, a precipitação na zona húmida da ilha acima dos 600 m de altitude, excede a evapotranspiração potencial, podendo, de acordo com o método de balanço de Penman-Grindley, ocorrer escorrência superficial e/ou recarga subterrânea. Na zona semi-húmida o período de tempo em que há excedentes fica reduzido aos meses de Agosto e Setembro, enquanto na zona árida e semi-árida da ilha de Santiago abaixo dos 400 m de altitude não há nunca excedentes, a evapotranspiração real é sempre igual à precipitação, não sendo possível calcular a recarga subterrânea por este método. É importante salientar que não quer isto dizer que não possa ocorrer recarga subterrânea em situações pontuais, como a ocorrência de grandes chuvadas, ou por recarga diferida a partir da zona mais central da ilha.

Tabela 4.6. Balanço hidrológico sequencial para as zonas áridas e semi-áridas (0-400 m) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficits; ΔR = Reserva)

	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	TOTAL
P (mm)	7.8	52.0	63.0	25.6	2.9	3.9	1.7	0.5	0.1	0.0	0.3	0.0	157.9
(usando o método de Penman para o cálculo da ETP)													
ETP	117.3	117.4	103.4	110.3	83.1	77.9	83.3	85.9	122.4	123.2	145.3	128.7	1298.2
P-ETP	-109.5	-65.4	-40.4	-84.7	-80.2	-74.0	-81.5	-85.4	-122.3	-123.2	-145.0	-128.7	-1140.3
ΔR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	7.8	52.0	63.0	25.6	2.9	3.9	1.7	0.5	0.1	0.0	0.3	0.0	157.9
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	109.5	65.4	40.4	84.7	80.2	74.0	81.5	85.4	122.3	123.2	145.0	78.7	1090.3
(usando o método de Thornthwaite para o cálculo da ETP)													
ETP	172.1	192.3	182.6	183.3	142.6	112.9	96.4	81.9	113.6	116.4	141.3	151.3	1686.6
P-ETP	-164.3	-140.3	-119.6	-157.7	-139.7	-109.0	-94.6	-81.4	-113.5	-116.4	-140.9	-151.3	-1528.7
ΔR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	7.8	52.0	63.0	25.6	2.9	3.9	1.7	0.5	0.1	0.0	0.3	0.0	157.9
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	164.3	140.3	119.6	157.7	139.7	109.0	94.6	81.4	113.5	116.4	140.9	101.3	1478.7
(usando dados da tina evaporimétrica para a ETP com um factor de correcção 0,66)													
ETP	82.8	78.6	77.3	80.7	87.1	85.6	84.6	91.4	101.5	90.0	88.8	85.4	1033.7
P-ETP	-74.9	-26.5	-14.3	-55.1	-84.2	-81.8	-82.9	-90.9	-101.4	-89.9	-88.5	-85.4	-875.8
ΔR	0.0	0.0	6.9	-6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	7.8	52.0	77.3	11.3	2.8	3.9	1.7	0.5	0.1	0.0	0.3	0.0	157.9
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	74.9	26.5	14.3	69.4	84.2	81.8	82.9	90.9	101.4	89.9	88.5	85.4	890.1

Tabela 4.7. Balanço hidrológico sequencial para as zonas semi-húmidas (400-600 m de altitude) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficits; ΔR = Reserva)

	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	TOTAL
P (mm)	27.7	125.9	163.5	59.6	12.8	11.2	9.4	2.9	0.5	0.2	0.1	0.3	413.8
(usando o método de Penman para o cálculo da ETP)													
ETP	79.1	75.6	60.9	62.7	40.4	34.7	34.9	39.9	60.0	64.7	79.6	81.6	714.1
P-ETP	-51.3	50.4	102.6	-3.1	-27.6	-23.5	-25.5	-37.1	-59.5	-64.5	-79.5	-81.3	-300.0
ΔR	0.0	50.0	0.0	-3.1	-27.6	-19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	27.7	75.6	60.9	62.7	40.4	30.5	9.4	2.9	0.5	0.2	0.1	0.3	311.1
EXC	0.0	0.4	102.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102.9
DEF	51.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	25.5	37.1	59.5	64.5	79.5	81.3	402.9
(usando o método de Thornthwaite para o cálculo da ETP)													
ETP	143.0	150.1	137.4	130.5	101.4	87.8	76.6	67.0	93.5	97.0	120.0	130.3	1204.3
P-ETP	-115.2	-24.1	26.0	-71.0	-88.6	-76.6	-67.2	-64.1	-93.0	-96.8	-119.8	-130.0	-790.5
ΔR	0.0	0.0	26.0	-26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	27.7	125.9	137.4	85.6	12.8	11.2	9.4	2.9	0.5	0.2	0.1	0.3	413.8
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	115.2	24.1	0.0	44.9	88.6	76.6	67.2	64.1	93.0	96.8	119.8	130.0	790.5
(usando dados da evaporação no evaporímetro de piche para a ETP)													
ETP	80.3	64.2	54.0	67.7	77.2	78.5	89.7	94.7	117.2	104.0	110.9	99.9	938.5
P-ETP	-52.6	61.7	109.4	-8.1	-64.3	-67.3	-80.4	-91.9	-116.7	-103.8	-110.7	-99.7	-524.7
ΔR	0.0	50.0	0.0	-8.1	-41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	27.7	64.2	54.0	67.7	54.7	11.2	9.4	2.9	0.5	0.2	0.1	0.3	292.7
EXC	0.0	11.7	109.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	121.1
DEF	-52.6	0.0	0.0	0.0	22.5	67.3	80.4	91.9	116.7	103.8	110.7	99.7	540.7

Tabela 4.8. Balanço hidrológico sequencial para as zonas húmidas (>600 m de altitude) da ilha de Santiago usando valores de evaporação na tina evaporimétrica ou as estimativas pelo método de Penman e Thornthwaite para o cálculo da ETP (Exc=Excedentes; Def.= Déficits; ΔR = Reserva).

	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	TOTAL
P (mm)	40.3	203.7	245.1	124.8	28.9	4.1	6.3	3.2	0.2	0.0	0.1	0.4	657.2
(usando o método de Penman para o cálculo da ETP)													
ETP	81.0	79.7	70.2	69.4	46.2	41.1	45.5	51.0	72.0	76.8	89.8	88.1	810.7
P-ETP	-40.7	124.0	175.0	55.4	-17.3	-37.1	-39.3	-47.8	-71.8	-76.8	-89.6	-87.6	-153.5
ΔR	0.0	50.0	0.0	0.0	-17.3	-32.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	40.3	79.7	70.2	69.4	46.2	36.8	6.3	3.2	0.2	0.0	0.1	0.4	352.8
EXC	0.0	74.0	175.0	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	304.4
DEF	40.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	39.3	47.8	71.8	76.8	89.6	87.6	457.9
(usando o método de Thornthwaite para o cálculo da ETP)													
ETP	123.5	131.4	122.6	120.5	98.2	83.8	73.6	64.1	86.6	84.8	102.9	110.5	1202.5
P-ETP	-83.2	72.3	122.5	4.3	-69.3	-79.7	-67.4	-60.9	-86.3	-84.8	-102.7	-110.1	-545.3
ΔR	0.0	50.0	0.0	0.0	-50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	40.3	131.4	122.6	120.5	78.9	4.1	6.3	3.2	0.2	0.0	0.1	0.4	508.1
EXC	0.0	22.3	122.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	149.2
DEF	83.2	0.0	0.0	0.0	19.3	79.7	67.4	60.9	86.3	84.8	102.7	110.1	694.4
(usando dados da tina evaporimétrica para a ETP com um factor de correcção 0,45)													
ETP	56.4	53.6	52.7	55.0	59.4	58.4	57.7	62.4	69.2	61.3	60.5	58.3	704.8
P-ETP	-16.1	150.2	192.4	69.8	-30.4	-54.3	-51.4	-59.2	-69.0	-61.3	-60.4	-57.8	-47.6
ΔR	0.0	50.0	0.0	0.0	-30.4	-19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETR	40.3	53.6	52.7	55.0	59.4	23.6	6.3	3.2	0.2	0.0	0.1	0.4	294.9
EXC	0.0	100.2	192.4	69.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	362.4
DEF	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	34.8	51.4	59.2	69.0	61.3	60.4	57.8	409.9

Tendo em conta os resultados dos balanços hidrológicos e as áreas de recarga definidas anteriormente, procedeu-se ao cálculo da recarga subterrânea e do volume de recursos subterrâneos renováveis na ilha de Santiago (Tabela 4.9). Nestes cálculos teve que se eliminar as estimativas da evapotranspiração potencial com base no método de Thornthwaite uma vez que manifestamente após análise dos resultados se conclui que não se adequam a este tipo de clima. Consideraram-se por isso apenas as estimativas pelos métodos de Penman ou com base na evaporação medida na tina evaporimétrica ou no evaporímetro de Piche.

O volume total de recarga subterrânea varia entre 22 e 30 hm³/ano, consoante se utiliza o método de Penman ou os valores de evaporação na tina evaporimétrica para calcular a evapotranspiração potencial, respectivamente.

Tabela 4.9. Cálculo do volume anual de recarga subterrânea na ilha de Santiago pelo método de Penman-Grindley (o método de Thornthwaite para o cálculo da ETP não foi considerado).

Zona climática	Estação	ETP	P	ETR	EXC	ES	R	Área	V
		(mm/ano)							(km ²)
Árida a semi-árida (0 - 400 m)	Praia	ETP Penman	155	204	0	0	0	573	0
		ETP Thornthwaite		204	0		0		0
		ETP Tina evaporimétrica		204	0		0		0
Semi-húmida (400 - 600 m)	S. Jorge	ETP Penman	414	311	103	50	53	152	8
		ETP Thornthwaite		414	0		0		0
		ETP Piche		293	121		71		11
Húmida (> 600 m)	Serra Malagueta	ETP Penman	636	353	283	100	183	77	14
		ETP Thornthwaite		508	128		28		2
		ETP Tina evaporimétrica		295	341		241		19

Legenda: P - Precipitação; ETP - Evapotranspiração potencial; ETR - Evapotranspiração real
Exc - Excedentes; ES - Escorrência superficial; R - Recarga subterrânea; V - Volume total recarga

4.4.2 Método de balanço de cloretos na zona saturada

O balanço de cloretos é um dos métodos mais usados no cálculo da recarga de água subterrânea na actualidade porque se trata de um método barato e fácil de aplicar, que não exige qualquer equipamento específico, e que pode ser aplicado tanto quando a recarga é directa ou diferida. O método permite chegar a um valor de recarga que é integrado no espaço e no tempo, e foi originalmente aplicado nos anos sessenta para determinar a recarga da planície costeira de Israel (Eriksson & Khunakasem, 1969). Este método tem sido ainda usado com êxito em algumas ilhas vulcânicas (Custodio, 1997; Lameli, 2001; Custodio, 2004).

Para a aplicação do balanço de cloretos ao cálculo da recarga nas águas subterrâneas é necessário o conhecimento de três variáveis: (1) a precipitação média anual da região; (2) a concentração média de cloretos na água da chuva e deposição seca; e (3) a concentração média de cloretos na água subterrânea da zona de estudo.

O método assume que o ião cloreto se comporta como um traçador ambiental conservativo e que o fluxo subterrâneo é essencialmente vertical na zona de infiltração e horizontal no aquífero. Para além destas condições considera-se ainda que:

- a única origem do ião cloreto é a água da chuva ou a deposição seca, e não existe nenhuma outra origem de ião cloreto no sistema aquífero;
- a entrada de cloreto na água da chuva e na deposição seca é considerada constante ao longo do período de tempo em análise;
- a água da precipitação evapora-se ou recarrega a água subterrânea sem escorrência superficial significativa;
- os pontos de amostragem de água subterrânea são suficientemente profundos para que a concentração de água subterrânea não seja afectada por evaporação.

De acordo com o método de balanço de cloretos, a recarga média anual é dada pela equação (*e.g.* Allison & Hughes, 1978):

$$\overline{q_R} = \frac{\overline{P}(\overline{C_{Ch}} + \overline{C_{DS}})}{\overline{C_{AS}}} \quad [4.3]$$

onde \overline{P} é a precipitação média anual [$L T^{-1}$], $\overline{C_{Ch}}$ é a concentração média de cloreto na água chuva [$M L^{-3}$], $\overline{C_{DS}}$ concentração média de cloreto na deposição seca [$M L^{-2} T^{-1}$] e $\overline{C_{AS}}$ [$M L^{-3}$] é a concentração média de cloreto na água subterrânea.

4.4.2.1 Aplicação do método

Para a aplicação do método de balanço de cloretos ao cálculo da recarga subterrânea na ilha de Santiago considerou-se:

- as concentrações de ião cloreto das amostras de água subterrânea disponíveis e recolhidas nas três unidades hidrogeológicas, e que serão descritas com mais detalhe na Capítulo 5 desta tese;
- de entre as amostras de água subterrânea disponíveis foram eliminadas todas aquelas com sinais evidentes de salinização ($Na+Cl > 1000$ mg/l), e dividiram-se as restantes em três grupos de acordo com a altitude do ponto de colheita (0-400 m; 400-600 m; >600 m);
- para cada grupo de amostras calculou-se a média da concentração de ião cloreto, assumindo-se este valor como o da água subterrânea de infiltração recente;

- a concentração de ião cloreto na água da chuva foi obtida a partir de duas únicas amostras que foi possível recolher em 2003, uma da cidade da Praia e a outra da zona do Pico da Antónia (condições semelhantes às da Serra Malagueta, e cujas composições químicas estão resumidas na Tabela 4.10. Para a zona de altitude intermédia (400-600 m) assumiu-se que a concentração de cloreto na água da chuva seria a média das outras duas disponíveis;
- a precipitação média e as áreas consideradas para cada uma das zonas climáticas foram as já utilizadas no método anterior.

Tabela 4.10. Composição química da água da chuva na ilha de Santiago (amostras de água da chuva recolhidas em Agosto e Setembro 2003)

	F mg/L	Cl mg/L	NO ₂ -N mg/L	Br mg/L	NO ₃ -N mg/L	PO ₄ -P mg/L	SO ₄ mg/L
Amostra chuva Pico da Antónia	<0,01	17,9	<0,01	0,05	0,30	<0,02	40,0
Amostra chuva cidade da Praia	<0,01	36,2	5,17	0,06	0,12	0,18	56,6

Utilizando o método de balanço de cloretos a recarga subterrânea anual na ilha de Santiago varia entre os 34 mm/ano na zona árida e semi-árida, os 63 mm/ano na zona semi-húmida e os 115 mm/ano na zona húmida e mais alta da ilha. Tendo em conta as áreas de infiltração (afloramentos da Unidade Recente e Intermédia), determinou-se que o volume de recursos subterrâneos renovados anualmente é de aproximadamente 39 hm³/ano (Tabela 4.11).

Tabela 4.11. Cálculo do volume anual de recarga subterrânea na ilha de Santiago pelo método de balanço de cloretos.

Zona climática	Estação	P (mm/ano)	Cl _{Ch+DS} (mg/l)	Cl _{AS} (mg/l)	R (mm/ano)	Área (km ²)	V _{recarga} (hm ³ /ano)	
Árida a semi-árida (0 - 400 m)	Praia	155	36.2	163.0	34	573	20	39
Semi-húmida (400 - 600 m)	S. Jorge	414	27.1	177.7	63	152	10	
Húmida (> 600 m)	Serra Malagueta	636	17.9	99.3	115	77	9	

4.5 Síntese dos resultados

A recarga subterrânea na ilha de Santiago varia significativamente com a precipitação, altitude e/ou distância à costa e tipo de formação geológica. A utilização conjunta de métodos físicos e químicos para aproximar o valor da recarga de água subterrânea na ilha de Santiago, permitiu superar algumas dificuldades resultantes da ocorrência de um clima predominantemente árido ou

semi-árido até aos 400 m de altitude da ilha, nomeadamente no que diz respeito à estimativa da evapotranspiração real.

Aplicando o método de balanço de cloretos obtém-se um volume total de recursos subterrâneos renováveis em média de 39 hm³/ano. No entanto, se o cálculo da recarga for feito com base no método de Penman-Grindley, obtêm-se valores de recarga anual inferiores e que podem variar entre 22 e 30 hm³/ano, dependendo do método de estimativa da evapotranspiração (Penman ou tina evaporimétrica, respectivamente). A utilização do método de Thornwaite na estimativa da evapotranspiração potencial não se mostrou adequada a este tipo de climas áridos e foi por isso eliminado.

Tendo em conta que o método de Penman-Grindley não permite calcular qualquer recarga nas zonas mais áridas da ilha (menores altitudes e valores de precipitação) considera-se que as estimativas de recarga por este método serão sempre por defeito, já que se sabe que nos períodos de maior precipitação a recarga subterrânea pode ocorrer mesmo a baixas altitudes. Sendo assim, considera-se que os valores estimados pelo método de balanço de cloretos se aproximarão mais do que se passa na natureza.

Do ponto de vista da recarga subterrânea, deve-se salientar a importância da criação de um maior número de estruturas de retenção de água (diques) nas zonas mais a montante dos leitos das ribeiras, de forma a potenciar o aumento da recarga subterrânea e a diminuir a quantidade de água doce que se perde ao mar. Assim, como a necessidade de criação de uma rede de monitorização da composição química (e, isotópica) da água da chuva (factor essencialmente na aplicação do método de balanço de cloretos).

5

HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA

A alteração química das rochas é um dos processos principais no controlo do ciclo geoquímico global dos elementos na crosta terrestre. Estes processos de alteração química têm como agente principal a água, implicando normalmente o consumo de dióxido de carbono (atmosférico ou endógeno) e a libertação em solução, de metais e outros elementos químicos, existentes nas estruturas das rochas, dando origem a novas rochas e/ou minerais. Para além de factores biológicos, a alteração química é também auxiliada por processos físicos que contribuem para fracturar as rochas e aumentar a superfície mineral sujeita à alteração.

Na ilha de Santiago existem rochas vulcânicas de composição e génese variadas, com predomínio das rochas de composição basáltica, constituídas maioritariamente por minerais de natureza silicatada. E, embora estes minerais apresentem normalmente uma cinética química bastante lenta, os basaltos são no grupo das rochas de origem vulcânica, aquele que é mais sensível a processos de alteração química, como a dissolução, a hidrólise e a oxidação. Por exemplo, estima-se que a contribuição de cálcio resultante da alteração de minerais silicatados em rochas basálticas por acção da água do mar, seja da mesma ordem de grandeza, que a contribuição de cálcio proveniente dos processos de alteração de silicatos de cálcio em zonas continentais (Berner & Berner, 1996).

Diversos factores controlam o grau de alteração química de uma rocha em ambientes vulcânicos, nomeadamente o clima, o tipo de rocha, o tempo de interacção água-rocha, a existência ou não de camada de solo e a composição química da água de infiltração (pH, temperatura). O clima determina a quantidade de água de precipitação, um dos factores fundamentais na alteração química. Em climas áridos e semi-áridos como o de Santiago, os processos de alteração química são mais lentos, devido à escassez de água.

O tipo de rocha influencia essencialmente através de três propriedades – a estrutura, a textura e a composição mineralógica. Quer a estrutura quer a textura influenciam a forma como a água circula numa rocha, determinando a extensão da relação água - rocha. A composição mineralógica da rocha determina em grande parte a composição catiónica da água subterrânea. Iões como o sódio, cálcio, magnésio e potássio estão debilmente retidos na estrutura silicatada do mineral, deixando a estrutura cristalina que se supõe oferecer uma certa resistência aos processos

de dissolução e passando, com uma certa facilidade, para a água (Custodio & Llamas, 2001). Estes processos de dissolução são, em geral, função do pH e da temperatura da água.

Nas áreas de vulcanismo recente, que não é o caso da ilha de Santiago, a dissolução de quantidades significativas de dióxido de carbono no terreno confere grande agressividade à água, e associada à existência de gradientes geotérmicos elevados, facilita a libertação de quantidade significativa de iões em solução.

No âmbito do presente trabalho de investigação foi realizado um estudo hidrogeoquímico detalhado das águas subterrâneas da ilha de Santiago com o objectivo de estudar, por um lado, as relações existentes entre o quimismo da água subterrânea e as características hidrogeológicas e mineralogia das principais formações aquíferas e, por outro lado, avaliar a qualidade da água para diferentes usos identificando potenciais focos de contaminação. Saliente-se ainda que os dados geoquímicos recolhidos constituíram uma importante ferramenta para validar os estudos hidrodinâmicos já realizados (capítulo 3), esclarecendo aspectos referentes à origem, processos de recarga (capítulo 4) e movimento da água no meio geológico.

A metodologia seguida incluiu (1) a caracterização da distribuição espacial das principais características físico-químicas das águas subterrâneas; (2) a identificação dos principais processos geoquímicos de interacção água - rocha; (3) o estudo de outros processos responsáveis pela variação do quimismo da água subterrânea, com especial ênfase nos processos de mistura (com águas salgadas, águas contaminadas, etc.); e, (4) a identificação de indicadores de contaminação.

As composições químicas e isotópicas da água subterrânea foram estudadas determinando-se razões iónicas, molares e isotópicas e a sua evolução com o aumento do tempo de residência (em função nomeadamente, da altitude e distância à costa). A selecção de alguns pontos de água que foram monitorizados durante um ano permitiu avaliar o efeito das precipitações no quimismo das águas subterrâneas. O cálculo dos índices de saturação dos minerais mais comuns tornou possível a identificação de algumas associações mineralógicas em equilíbrio com as águas subterrâneas.

Importa referir que existiam alguns estudos hidrogeoquímicos anteriores realizados na ilha de Santiago, a maioria com base na análise dos constituintes principais das águas subterrâneas, mas alguns já incluíram a determinação de isótopos estáveis ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) e datações (^3H e ^{14}C), mas nenhum realizou um estudo com um número tão elevado de pontos de água, nem incluiu a determinação de elementos menores e traço. Barmen *et al.* (1984) estudou os constituintes principais e fez determinações de trítio nas águas subterrâneas na zona Norte, Centro e Este da ilha. Akiti (1985), num relatório realizado para a IAEA a pedido do PNUD, apresentou os resultados de um estudo hidroquímico e isotópico que incluiu determinações de isótopos estáveis ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$), trítio (^3H) e carbono-14 (^{14}C) contribuindo para um melhor conhecimento dos

recursos de água subterrânea nas bacias do Tarrafal e da Achada Baleia, nomeadamente sobre a sua origem e tempo de residência. O INGRH & Cooperação Espanhola (1994) realizaram também um estudo sobre a qualidade da água da subterrânea no arquipélago de Cabo Verde, que incluiu também a determinação dos constituintes principais, isótopos estáveis, trítio e carbono-14 na água subterrânea. Estes autores foram os primeiros a analisar a composição química e isotópica da água da chuva. Heitor & Pina (2003) fizeram um estudo sobre a qualidade da água subterrânea da ilha a partir de análises de constituintes principais. Mota Gomes *et al.* (2004) e Lobo de Pina *et al.* (2004, 2005) apresentaram os primeiros resultados físico-químicos obtidos nas campanhas de campo que serviram de base aos estudos hidrogeoquímicos das suas teses de Doutoramento (Mota Gomes, 2007; Lobo de Pina nesta monografia). Monteiro Santos *et al.* (2006) correlaciona os resultados dos estudos geofísicos sobre intrusão salina na zona de Santa Cruz, Santa Catarina e Tarrafal, com os resultados já obtidos àquela data por Mota Gomes *et al.* (2004) e Lobo de Pina *et al.* (2004, 2005). Mota Gomes (2007) caracteriza o quimismo das três unidades hidrogeológicas com base na análise da distribuição dos constituintes principais. Carreira *et al.* (2007a,b,c,d) no âmbito do projecto Hydroarid realiza duas campanhas de amostragem na ilha de Santiago, em que foram recolhidas cerca de trinta amostras de água subterrânea pertencentes aos diferentes sistemas aquíferos da ilha para análises isotópicas ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^3H). De referir que estes autores utilizaram como base de dados os pontos de água previamente seleccionados por Lobo de Pina *et al.* (2004, 2005) e Mota Gomes (2007). Condesso de Melo *et al.* (2008) apresenta os resultados de um estudo hidroquímico e isotópico (isótopos estáveis) com o objectivo de avaliar potenciais zonas de recarga e mecanismo de salinização das águas subterrâneas.

5.1 Amostragem das águas subterrâneas e métodos analíticos

Para a realização do estudo hidrogeoquímico da ilha de Santiago foram realizados trabalhos de campo que implicaram a recolha de amostras de água subterrânea em nascentes, furos e poços que captam em diferentes unidades hidrogeológicas, a diversas altitudes e distâncias da costa. Foram realizadas duas campanhas de campo distintas, sendo a primeira realizada em Junho/Julho de 2003 no período de maior estiagem na ilha e a segunda, realizada nos meses de Novembro a Janeiro de 2003/2004, no período que se seguiu à época das chuvas. Durante o ano de 2004, procedeu-se ainda a uma monitorização mensal da qualidade da água em alguns pontos (Fig. 5.1).

Tal como já foi referido no capítulo anterior, não foi possível fazer a monitorização da qualidade da água da chuva, tendo-se apenas recolhido duas amostras de água da chuva, uma na cidade da Praia e a outra da zona do Pico da Antónia, representativas das chuvas que caíram em 2003. Neste contexto, pela sua escassa representatividade, serão sempre comparadas com os resultados de outros estudos anteriormente realizados na ilha de Santiago.

Para a selecção dos pontos de água a analisar foram consideradas informações já existentes na base de dados do INGRH, como as principais características técnicas dos furos e poços (profundidade, diâmetro do furo, posição dos ralos, tipo de uso, nível hidroestático, caudal, etc.) e a informação disponível a partir dos respectivos logs de sondagens (formações geológicas e principais unidades aquíferas captadas, grau de confinamento, etc.). Houve ainda o cuidado de escolher alguns pontos de água ao longo de uma mesma ribeira (ribeira Grande da Cidade Velha, ribeira Grande do Tarrafal e ribeira dos Flamengos, neste caso) para que se pudesse avaliar a evolução hidrogeoquímica ao longo de uma mesma direcção principal de fluxo. No total foram seleccionados 133 pontos de água para amostragem a partir do inventário inicialmente realizado, distribuídos espacialmente pela ilha de forma representativa, dos quais 61 são furos de exploração, 7 são piezómetros, 25 são poços e 40 são nascentes (Fig. 5.2).

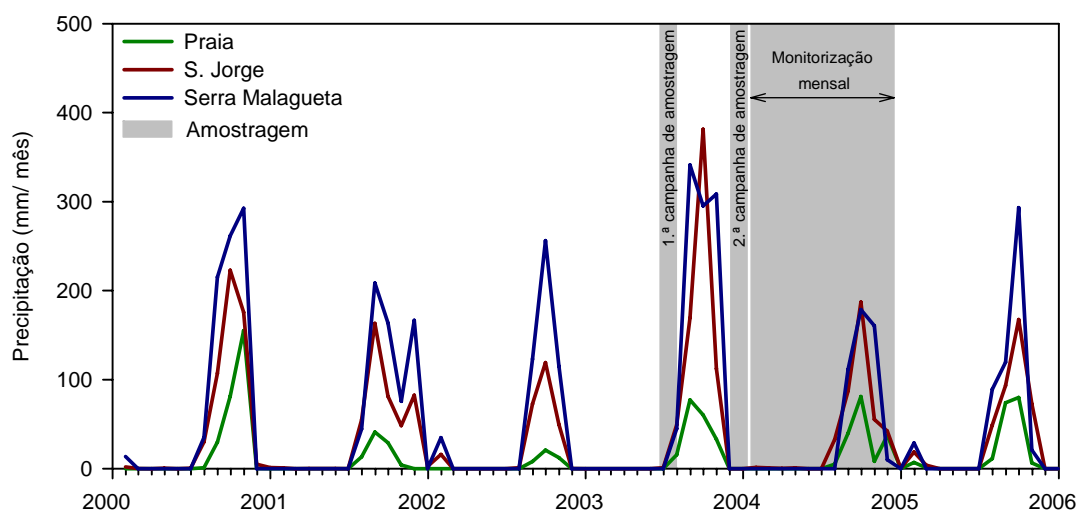


Fig. 5.1. Cronograma das campanhas de amostragem para a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na ilha de Santiago.

As amostras foram recolhidas após bombagem prolongada das captações em funcionamento; directamente de nascentes (a montante sempre das zonas de lavagem de roupa) e utilizando amostradores manuais nos piezómetros que não têm bomba. No caso das captações de água subterrânea e das nascentes, a recolha só foi realizada após a estabilização de alguns dos principais parâmetros de campo, como o pH, a temperatura (T) e a condutividade eléctrica (CE). A temperatura e o pH foram medidos em campo com um medidor de pH da HANNA Instruments®, digital e portátil, o qual faz um ajuste automático da temperatura. A condutividade eléctrica foi medida com um condutivímetro portátil de WTW® também com compensação automática da temperatura. Devido aos condicionalismos e dificuldades da amostragem em zonas de difícil acesso, que limitaram o uso de uma célula de fluxo, acabou por não se monitorizar o potencial redox (Eh) e o oxigénio dissolvido (OD).

Antes da amostragem, todos os frascos foram lavados uma primeira vez em laboratório com ácido nítrico diluído para remover qualquer contaminante oxidável e depois, duas vezes com água desmineralizada. Já no campo, os frascos foram passados mais duas vezes por água filtrada do próprio ponto de água a amostrar.

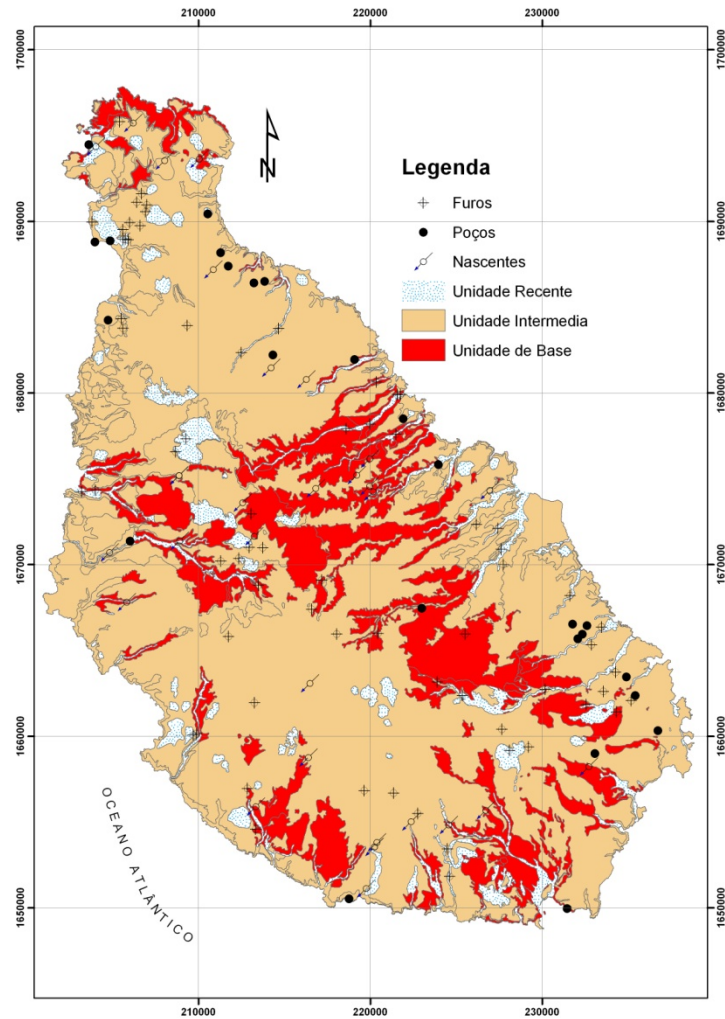


Fig. 5.2. Mapa da área de estudo com pontos de água subterrânea amostrados.

As amostras para a análise dos constituintes principais, secundários e vestigiários foram recolhidas em frascos de polietileno de alta densidade (PEAD), com tampa dupla, evitando sempre que possível a presença de bolhas de ar e armazenando-os em arcas frigoríficas para os resguardar do contacto directo com a luz solar e do calor. O volume recolhido e o tipo de cuidados no manuseamento variaram de acordo com os parâmetros a analisar, os métodos analíticos a empregar e as indicações do laboratório. As amostras para a análise de isótopos estáveis foram recolhidas em frascos de vidro de 60 ml com tampa cónica.

Assim, só foram filtradas com filtros de membrana HA 0.45 μm da Milipore® e acidificadas com ácido nítrico ultrapuro (1% v/v HNO_3 Aristar®), as 46 amostras recolhidas durante a 1.ª campanha para a análise dos constituintes secundários e vestigiários, e analisadas por espectrometria de massa por fonte induzida de plasma (ICP-MS) e por espectrometria de emissão óptica por fonte induzida de plasma (ICP-OES), no Activation Laboratories em Ontário (Canada) (Fig. 5.3).

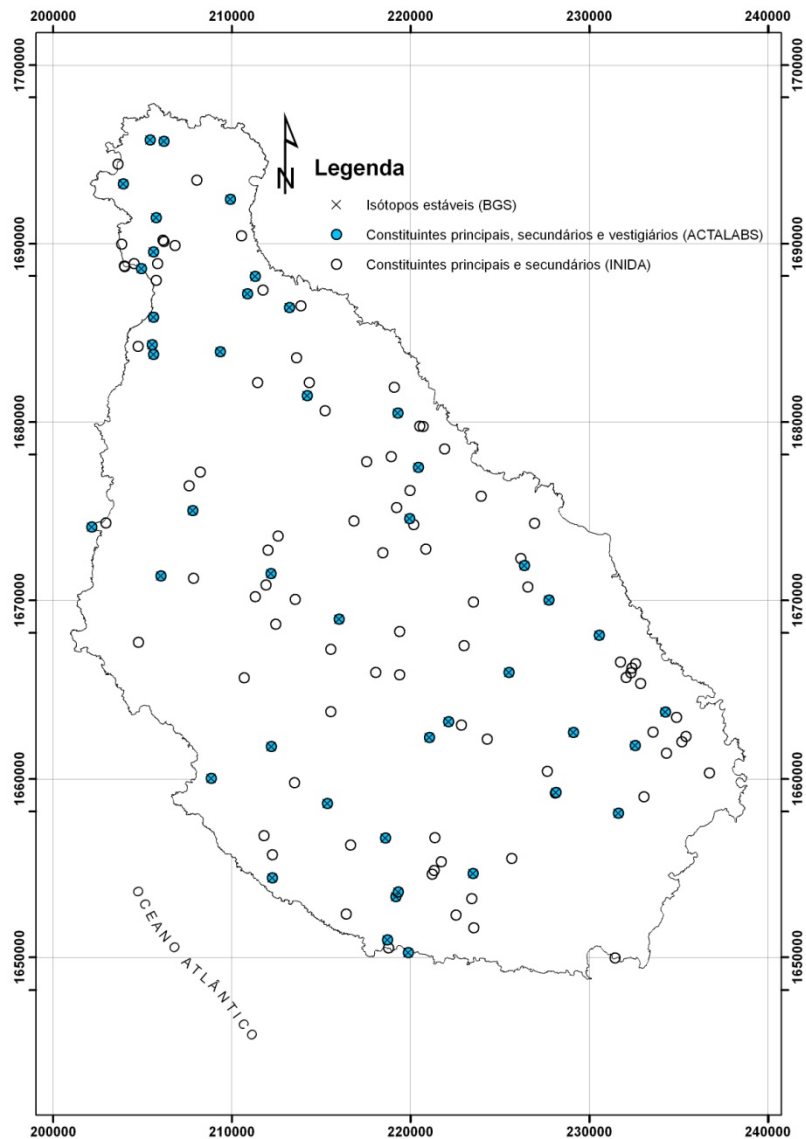


Fig. 5.3. Localização espacial dos pontos de água analisados nos diferentes laboratórios.

As restantes 133 análises de constituintes principais (Na , K , Ca , Mg , NH_4 , Cl , NO_3 , SO_4 , HCO_3 e SiO_2) foram realizadas pelo laboratório do INIDA em S. Jorge dos Órgãos na ilha de Santiago (Cabo Verde) (Fig. 5.3). Os métodos analíticos utilizados foram a fotometria de chama

(Na e K), a titulação por complexometria com EDTA (Ca e Mg), a titulometria potenciométrica até pH pré-definido (HCO_3), a espectrofotometria de absorção atómica (EAA) e molecular (EAM) (NH_4 , NO_3 , SO_4 e SiO_2), e a volumetria de precipitação segundo o método de Mohr (Cl).

As análises de isótopos estáveis ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^2\text{H}/^1\text{H}$) foram realizadas por espectrometria de massa pelos Groundwater Systems and Water Quality Group laboratories do British Geological Survey (BGS) em Wallingford (Reino Unido). A metodologia analítica utilizada seguiu os métodos propostos por Coleman et al. (1982) para o $\delta^2\text{H}$ e por Epstein & Mayeda (1953) para o $\delta^{18}\text{O}$. Os resultados da análise de isótopos estáveis são dados em partes por mil (‰) relativamente ao padrão Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) e utilizando a nomenclatura padrão δ (delta) (Gonfiantini, 1978).

A qualidade dos resultados analíticos obtidos foi avaliada calculando a condição de electroneutralidade (E.N.) para cada uma das análises de água realizadas e que é dada pela Equação [5.1] (todos os dados em meq/l).

$$\text{E.N. (\%)} = \frac{\sum(\text{Na, K, Ca, Mg}) + \sum(\text{Cl, HCO}_3, \text{SO}_4, \text{NO}_3)}{\sum(\text{Na, K, Ca, Mg}) - \sum(\text{Cl, HCO}_3, \text{SO}_4, \text{NO}_3)} \cdot 100 \quad [5.1]$$

A margem de erro analítico admissível depende da concentração total de sais solúveis em solução, podendo-se estabelecer uma relação entre a percentagem de erro e a condutividade eléctrica, sendo que o erro admissível deverá ser menor em soluções mais concentradas (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Erros de balanço admissíveis em função da condutividade eléctrica da água (Custodio & Llamas, 2001)

Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	2000	> 2000
Erro admissível (%)	30	10	8	4	4

Após o cálculo inicial dos balanços iónicos verificou-se que a grande maioria das análises realizada pelo laboratório do INIDA apresentavam erros muito elevados (>10%), o que obrigou a que muitas amostras tivessem tido que ser reanalisadas (Fig. 5.4). Este processo serviu também para o próprio laboratório melhorar a sua qualidade analítica.

Para o presente estudo só foram finalmente consideradas as amostras com balanços iónicos inferiores a 10%, erro este considerado aceitável para as condicionantes locais de amostragem e natureza analítica, embora se assumisse que o ideal seria um erro inferior a 5% (Appelo & Postma, 2005).

Verificou-se que 33% das amostras de água subterrânea apresentaram balanços iónicos com erros inferiores a 4% e 77% erros entre 4 e 10% (Fig. 5.4), sendo que os erros mais elevados foram obtidos precisamente nas amostras que apresentam maiores condutividades eléctricas, algo que é contrário ao que seria expectável segundo Custodio & Llamas (2001).

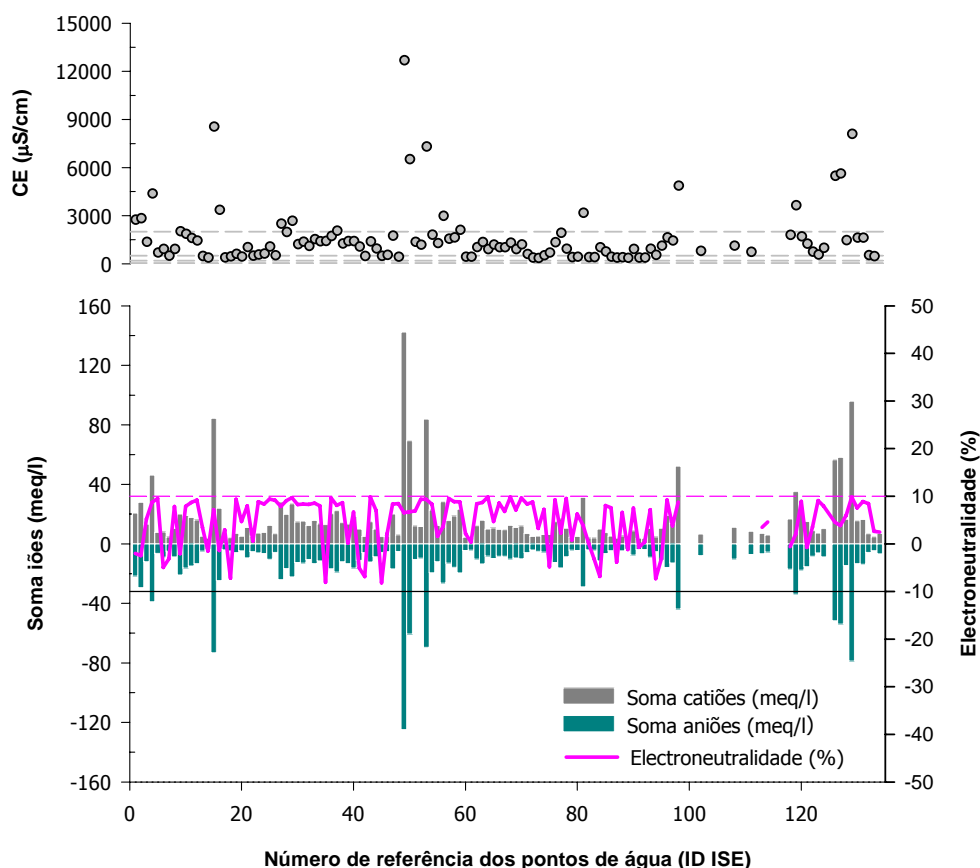


Fig. 5.4. Balanço iónico para determinação do erro de análise das amostras de água subterrânea e comparação com o valor de condutividade eléctrica.

5.2 Análise exploratória dos dados

O estudo hidrogeoquímico da ilha de Santiago incluiu na sua fase inicial uma análise exploratória dos principais dados físico-químicos das amostras de águas subterrânea recolhidas nas duas campanhas de campo realizadas. Esta análise exploratória dos dados teve como objectivos a familiarização com os dados, a avaliação da sua qualidade e em particular, reconhecer alguns padrões de comportamento da distribuição de dados, de forma a poder evidenciar algumas tendências, que contribuam para melhorar o conhecimento do quimismo das águas subterrâneas.

Por isso, numa primeira fase de tratamento dos dados utilizaram-se algumas técnicas de estatística univariada, calculando-se valores máximos e mínimos, assim como algumas medidas de tendência central e de dispersão, representativas das três unidades hidrogeológicas:

- média aritmética (μ) e mediana (P_{50});
- moda (M_o);
- desvio padrão (σ) e distância interquartil (**IQR**);
- valores máximos (**MAX**) e mínimos (**MIN**);
- 1.º ($Q_1 = P_{25}$) e 3.º ($Q_3 = P_{75}$) quartis
- 10º (P_{10}), 95º (P_{95}) e 97,7º ($P_{97.7}$) percentis

5.2.1 Temperatura (T)

Em ambientes vulcânicos, a temperatura é normalmente um factor importante na caracterização das águas subterrâneas pois em zonas vulcanicamente activas e com gradientes geotérmicos elevados, pode influenciar de forma significativa a solubilidade dos minerais e dos gases e, ainda, agir como condicionante no equilíbrio das reacções químicas. No entanto, na ilha de Santiago, as variações da temperatura das águas subterrâneas não são muito significativas, variando apenas ligeiramente com a profundidade do nível aquífero captado, e aproximando-se das temperaturas médias do ar nos níveis aquíferos mais superficiais nas proximidades da costa (Fig. 5.5).

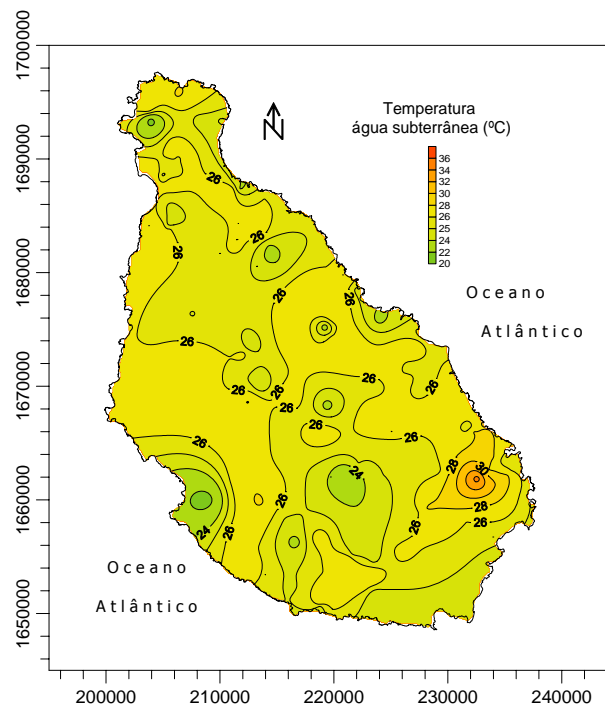


Fig. 5.5. Distribuição espacial das temperaturas da água subterrânea na ilha de Santiago.

Na Tabela 5.2 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de temperatura da água subterrânea por unidade hidrogeológica na ilha de Santiago. A temperatura da água subterrânea varia entre um mínimo de 21,4°C e um máximo de 29,8°C na Unidade de Base, entre 20,3°C e 34,9°C na Unidade Intermédia e entre 23,6°C e 28,5°C na Unidade Recente. Os valores extremos foram observados na Unidade Intermédia, a principal unidade hidrogeológica da ilha. No entanto, se considerarmos os valores da média e da mediana, as variações de temperatura da água subterrânea em qualquer uma das três unidades hidrogeológicas podem ser considerados insignificantes (<1°C).

Tabela 5.2. Dados estatísticos básicos dos valores de temperatura (°C) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	26,6	26,0	25,9	25,8	26,1	26,0
Mediana (P_{50})	26,7	26,1	25,9	26,1	26,5	26,0
Moda (M_o)	27,9	26,4	25,3	28,7	27,4	24,5
Valor Mínimo (MIN)	24,0	21,0	23,6	21,4	20,3	24,2
Valor Máximo (MAX)	29,8	34,9	28,5	29,0	31,5	28,4
Percentis						
P_{10}	24,9	24,2	23,9	23,2	23,1	24,5
P_{25} (Q_1)	25,4	25,1	24,7	23,9	25,0	24,9
P_{75} (Q_3)	27,9	27,0	27,0	27,5	27,4	27,3
P_{90}	28,2	27,9	27,5	28,7	28,1	27,5
$P_{97.7}$	29,1	28,8	28,1	28,9	29,2	28,0
Desvio Padrão (σ)	1,4	1,9	1,4	2,3	2,0	1,3
IQR	2,5	1,9	2,3	3,6	2,4	2,5
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

Também o efeito do gradiente geotérmico não se reflecte na temperatura das águas subterrâneas. Como se pode verificar na Fig. 5.6, são os furos e poços menos profundos que captam águas com temperaturas mais elevadas, o que se deve provavelmente ao facto de captarem águas de níveis hidrogeológicos muito próximos da superfície e com contacto quase directo com a atmosfera.

Verifica-se sim um ligeiro efeito da sazonalidade sobre a temperatura da água subterrânea. Este efeito não é evidente da comparação dos valores médios de temperatura da 1.ª campanha realizada antes da época das chuvas com os da 2.ª campanha (Tabela 5.2), mas pode ser observado na Fig. 5.7, onde estão representadas as evoluções mensais da temperatura da água subterrânea nos furos FT-208 e FBE-97 que captam na Unidade de Base e nos furos FT-29 e FT-169 que captam na Unidade Intermédia durante o ano de 2004. Da comparação da temperatura da água subterrânea com a temperatura média do ar verificou-se que nos meses mais quentes, de Julho a Outubro, a água subterrânea está efectivamente mais quente. Nos meses mais frios, de

Dezembro a Fevereiro, a água subterrânea está 1 ou 2°C mais fria, mas sempre a temperatura superior à temperatura ambiente.

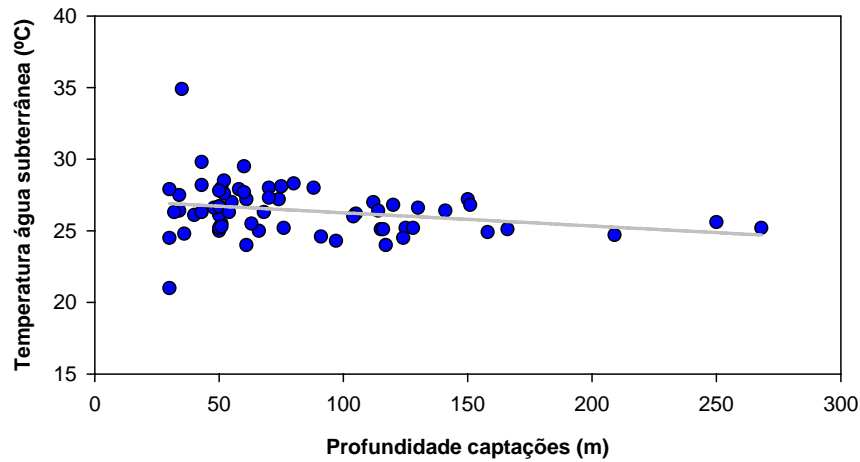


Fig. 5.6. Relação entre as temperaturas da água subterrânea e a profundidade de captação.

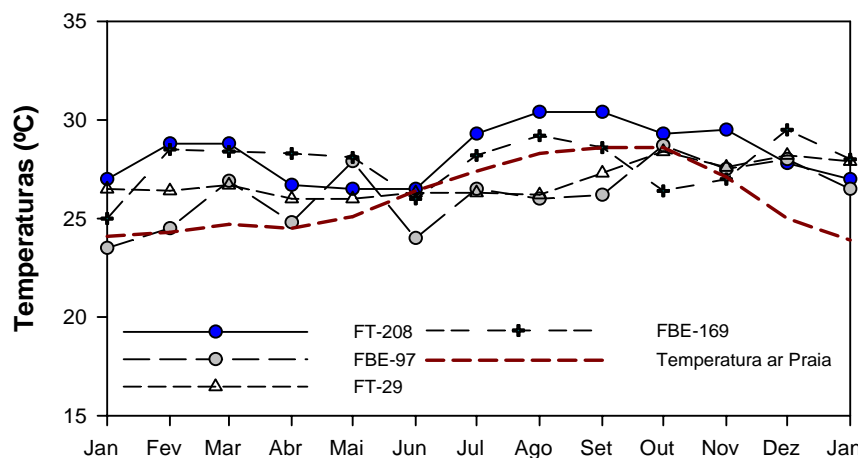


Fig. 5.7. Evolução da temperatura da água subterrânea em alguns furos de captação de água subterrânea entre Janeiro 2004 e Janeiro de 2005.

5.2.2 Condutividade eléctrica (CE)

A condutividade eléctrica é um parâmetro físico-químico que mede a capacidade da água para conduzir corrente eléctrica, em função da concentração iónica em solução e da temperatura, sendo por isso os resultados das medições normalmente referidos à temperatura padrão de 20 ou 25 °C. Nas águas subterrâneas, os valores da condutividade eléctrica são normalmente usados como indicadores do grau de mineralização. No entanto, o aumento da condutividade eléctrica pode resultar não só de processos naturais de interacção água-rocha (nomeadamente, a dissolução) mas também de processos de contaminação (industrial, doméstica, agrícola, intrusão salina),

sendo por isso muitas vezes também utilizada na monitorização destes processos de origem antrópica.

Do ponto de vista da distribuição espacial dos valores de condutividade eléctrica na ilha de Santiago verificamos que esta é mais elevada nas zonas mais próximas da costa, diminuindo para o interior da ilha com o aumento da altitude e o aumento da distância à costa (Fig. 5.8). Na costa Oeste, os valores de condutividade eléctrica são mais baixos do que na costa Este, uma vez que a costa ocidental é mais elevada e abrupta, com acessos difíceis pelo que existe bastante menos população e naturalmente menos captações de água subterrânea. Pode-se observar ainda que existe uma zona quer na parte Norte quer na parte Sul da ilha onde as condutividades eléctricas são bastante baixas ($<400 \mu\text{S}/\text{cm}$). São furos e nascentes que exploram a Unidade Intermédia. A zona Sul corresponde essencialmente à Ribeira Grande da Cidade Velha e pode verificar-se como a condutividade vai aumentando em direcção ao mar.

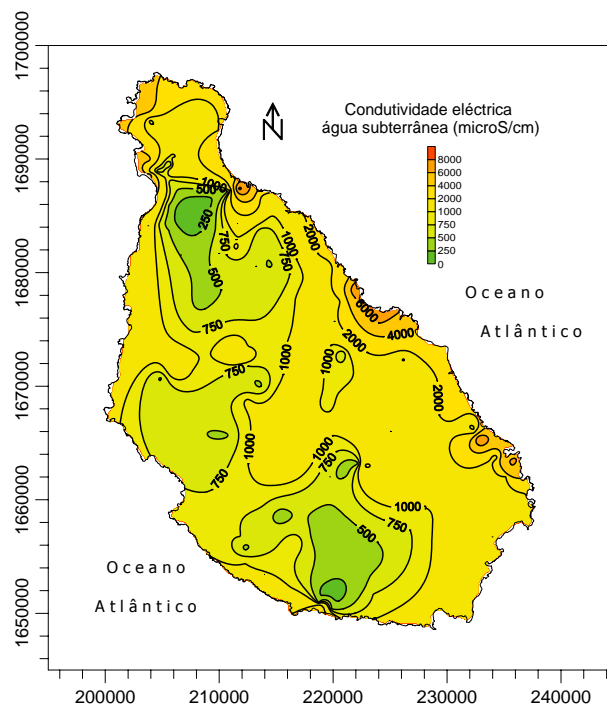


Fig. 5.8. Distribuição espacial da condutividade eléctrica da água subterrânea na ilha de Santiago.

Na Tabela 5.3 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação da condutividade eléctrica da água subterrânea por unidade hidrogeológica na ilha de Santiago, podendo-se verificar que existe uma grande heterogeneidade de valores. A condutividade eléctrica da água subterrânea varia entre um mínimo de $440 \mu\text{S}/\text{cm}$ e um máximo de $2750 \mu\text{S}/\text{cm}$ na Unidade de Base, entre $362 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $53500 \mu\text{S}/\text{cm}$ na Unidade Intermédia e entre $503 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $8550 \mu\text{S}/\text{cm}$ na Unidade Recente.

Os valores extremos foram observados na Unidade Intermédia, a principal unidade hidrogeológica da ilha, e estão claramente influenciados pelas condutividades eléctricas da nascente 52-42 na Ribeira dos Picos (CE=12680 e 16600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em Junho e Dezembro, respectivamente) que capta formações de pillow lavas, do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia, nas proximidades do mar (cerca de 460 m) e do poço 59-10 que capta na mesma formação hidrogeológica praticamente água do mar (CE=53500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em Dezembro). No entanto, se considerarmos os valores da média e da mediana, constata-se que a Unidade de Base e a Intermédia têm condutividades eléctricas médias muito próximas (1200 a 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e mais baixas do que a Unidade Recente (2000 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

É de realçar ainda o facto de a quase totalidade das captações amostradas na Unidade Recente serem poços, normalmente escavados em materiais geológicos de elevada permeabilidade (as aluviões), geralmente sobreexplorados (para abastecer as zonas agrícolas) e localizados nas partes terminais das ribeiras junto à costa. Quase sempre estes poços exploram volumes de água muito acima dos recomendados contribuindo para um pronunciado rebaixamento dos níveis freáticos sob o nível médio do mar e para um aumento do risco de intrusão salina.

Tabela 5.3. Dados estatísticos básicos dos valores de condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	1384	1224	3301	1322	1228	2489
Mediana (P_{50})	1273	750	2590	1250	733	1841
Moda (M_o)	*	377	*	*	410	*
Valor Mínimo (MIN)	440	362	569	450	370	503
Valor Máximo (MAX)	2750	12680	8550	2210	53500	7570
Percentis						
P ₁₀	949	397	1103	781	410	1000
P ₂₅ (Q ₁)	1111	467	1518	1078	460	1180
P ₇₅ (Q ₃)	1632	1354	5023	1598	1253	2730
P ₉₀	1909	1922	6598	1987	1825	5308
P _{97.7}	2411	5742	8004	2167	4731	6643
Desvio Padrão (σ)	470	1741	2264	448	2076	1801
IQR	521	887	3504	520	793	1550
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

A representação dos dados na Fig. 5.9 permite, por um lado, verificar que não existe uma diferença significativa nas condutividades eléctricas das amostras recolhidas antes da época das chuvas e depois da época das chuvas; e, por outro lado, confirmar que existem algumas diferenças nas condutividades eléctricas das três unidades hidrogeológicas.

Na Unidade de Base podemos verificar que há um comportamento estável e/ou quase constante da condutividade eléctrica, com valores relativamente moderados (<2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), não

variando com a distância à costa em ambas as campanhas. Este comportamento estará certamente relacionado com o meio geológico onde se está a captar a água, e contraria de certa forma a ideia que estas formações hidrogeológicas mais antigas, localizadas a maior profundidades e em zonas mais altas da ilha, apresentariam uma condutividade eléctrica normalmente elevada.

O comportamento deste parâmetro na Unidade Intermédia é ligeiramente diferenciado, pois embora apresente em geral uma condutividade eléctrica moderada ($<2000 \mu\text{S}/\text{cm}$), esta aumenta significativamente nas proximidades do mar, principalmente quando se está a captar de níveis de pillow lavas a cotas inferiores ao nível médio do mar.

Na Unidade Recente verifica-se um fenómeno semelhante ao que se observou na Unidade Intermédia, já que a condutividade eléctrica aumenta com a proximidade ao mar, sendo que este fenómeno resulta da sobreexploração dos níveis das aluviões nas partes terminais das ribeiras, junto ao mar.

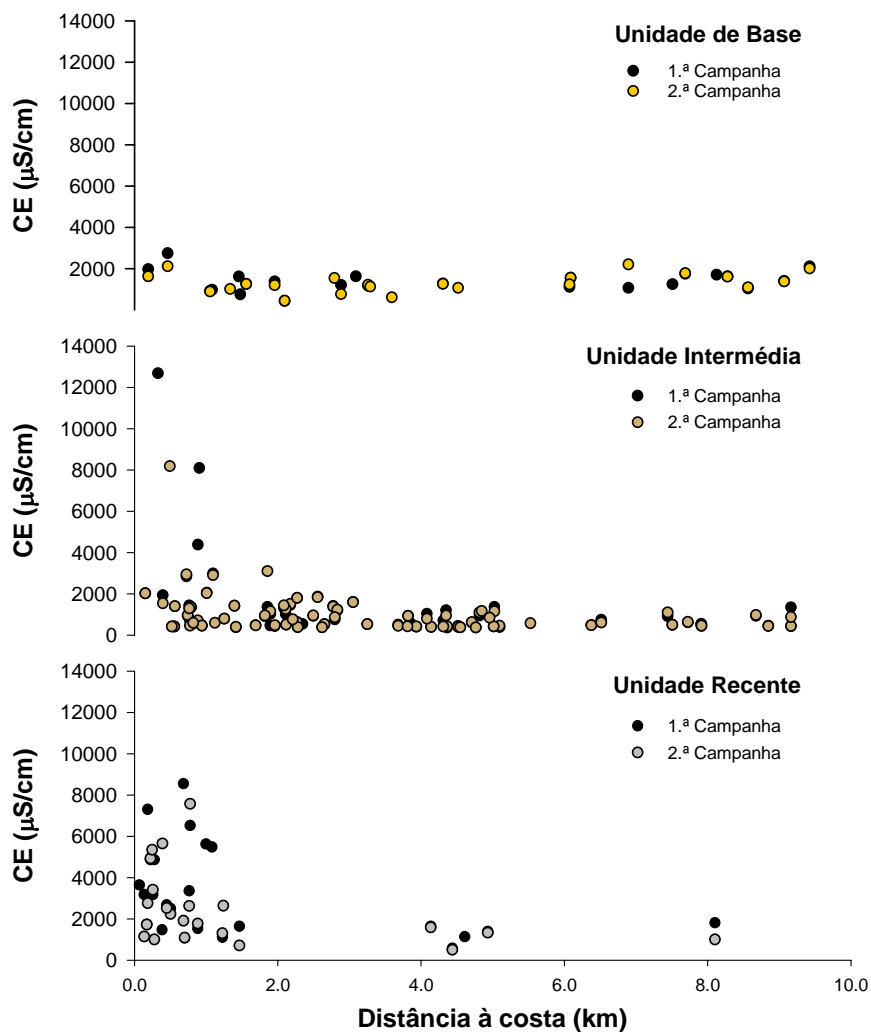


Fig. 5.9. Evolução da condutividade eléctrica com a distância à costa na ilha de Santiago.

5.2.3 pH

O pH definido como o logaritmo negativo do valor da actividade do hidrogénio H^+ na água ($pH = -\log [H^+]$) é um parâmetro de extrema importância no controle das reacções em que as águas subterrâneas estão envolvidas, designadamente os equilíbrios ácido-base, a hidrólise e polimerização, a adsorção, a oxidação-redução, e na definição dos estados de saturação em relação aos diversos minerais (Langmuir, 1997).

Do ponto de vista da distribuição espacial dos valores de pH na ilha de Santiago verificamos que existe um claro zonamento da ilha, com valores de pH que variam de ligeiramente ácidos a próximos da neutralidade (inferiores a 7,0 – 7,25) na metade oriental da ilha, e valores de pH superiores a 7,25 na metade mais ocidental da ilha (Fig. 5.10).

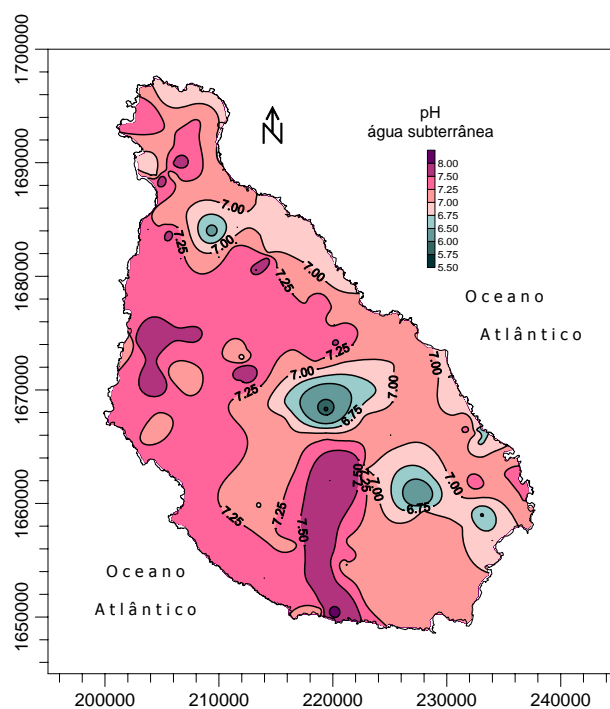


Fig. 5.10. Distribuição espacial do pH da água subterrânea na ilha de Santiago.

A justificação para este zonamento pode ser de origem geoquímica e estar também relacionada com o facto de toda a vertente Este da ilha ser a que está sob influência dos ventos alísios, a que recebe mais humidade e onde existe o maior número de captações. Por isso, nesta zona da ilha os tempos de trânsito serão inferiores e o tempo de interacção água-rocha também.

Na Tabela 5.4 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação do pH da água subterrânea por unidade hidrogeológica na ilha de Santiago. O pH da água subterrânea varia entre um mínimo de 6,0 e um máximo de 7,6 na Unidade de Base, entre 5,7 e 8,2 na Unidade

Intermédia e entre 6,5 e 7,5 na Unidade Recente, observando-se os valores extremos uma vez mais na Unidade Intermédia, a principal unidade hidrogeológica da ilha e a mais explorada para satisfação das necessidades de água das populações e abastecimento agrícola.

Tabela 5.4. Dados estatísticos básicos dos valores de pH das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	7,1	7,3	7,1	7,1	7,0	7,0
Mediana (P_{50})	7,1	7,2	7,0	7,1	7,0	7,0
Moda (M_0)	7,2	7,2	7,0	7,3	7,0	7,0
Valor Mínimo (MIN)	6,0	5,7	6,5	6,6	6,3	6,7
Valor Máximo (MAX)	7,6	8,2	7,5	7,5	7,9	7,5
Percentis						
P_{10}	6,8	7,0	6,8	6,6	6,7	6,8
P_{25} (Q_1)	6,9	7,1	6,9	7,3	6,9	7,0
P_{75} (Q_3)	7,2	7,5	7,3	7,3	7,1	7,1
P_{90}	7,4	7,7	7,3	7,3	7,5	7,3
$P_{97.7}$	7,5	8,0	7,5	7,4	7,7	7,4
Desvio Padrão (σ)	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2
IQR	0,3	0,4	0,4	0,0	0,2	0,2
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

5.2.4 Catiões

Em ilhas vulcânicas, a água subterrânea ao infiltrar-se e circular em profundidade, entra em contacto directo com o solo (formado a partir de restos de materiais vulcânicos) e com as rochas vulcânicas que formam as principais unidades hidrogeológicas, reagindo com os minerais constituintes (plagioclases, feldspatos-K, piroxenas, anfíbolos, olivinas, biotites, etc.). Estes minerais dissolvem-se, reagindo de forma mais ou menos extensa consoante a sua composição, e dando origem a diferentes constituintes em solução, que por vezes voltam a reagir, originando minerais secundários de solubilidade muito mais reduzida. De entre os constituintes principais das águas subterrâneas, os catiões são aqueles que normalmente têm maiores afinidades e interações com o meio rochoso que lhes deu origem. Na ilha de Santiago, o catião mais abundante nas águas subterrâneas é o sódio, seguido do magnésio, cálcio, silício e potássio ($[Na] > [Mg] \geq [Ca] > [Si] \geq [K]$). Todos estes catiões têm na sua origem processos naturais de interacção água-rocha e processos potenciados pela actividade humana como a intrusão salina e a contaminação agrícola.

5.2.4.1 Sódio (Na)

O sódio é o catião mais abundante nas águas subterrâneas da ilha de Santiago, sendo que o seu valor de mediana, quer na primeira, quer na segunda campanha representa cerca de 55% da

soma dos catiões principais em solução, pelo que tem um papel relevante na contribuição para a mineralização total da água. A origem do sódio pode ser o resultado da contribuição de vários factores:

- o aerossol marinho na atmosfera insular faz com que se faça o depósito de sais de cloreto de sódio (halite) nos longos períodos de estiagem. Após as primeiras chuvas, todos estes sais depositados, tanto nos solos, como nas coberturas vegetais e arbustivas, são transportados em solução para os aquíferos;
- a presença na Unidade Intermédia de volume considerável de escoadas lávicas, vulcanitos e por vezes traquitos, todas rochas de natureza alcalina onde o sódio (mas também o Ca e o Mg) é sempre um elemento químico abundante;
- a intrusão salina, uma vez que o sódio é o principal constituinte da água do mar (junto com o ião cloreto).

Da análise da distribuição espacial do sódio nas águas subterrâneas da ilha de Santiago (Fig. 5.11) verifica-se que uma grande parte da ilha apresenta valores inferiores a 100-150 mg/l. Estes valores deverão corresponder às concentrações naturais no aquífero (fundo geoquímico) e resultar da infiltração da água da chuva de composição cloretada sódica e da dissolução de minerais ricos em sódio devido à interacção água-rocha.

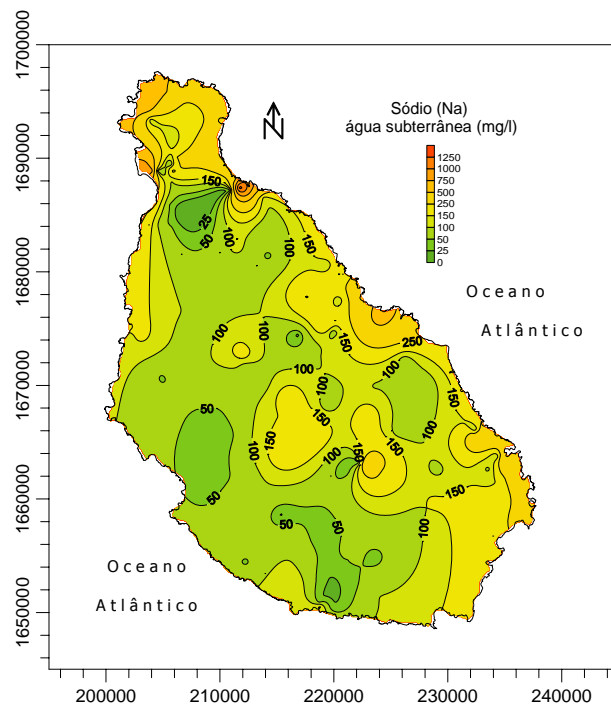


Fig. 5.11. Distribuição espacial das concentrações de sódio na água subterrânea da ilha de Santiago.

Os valores mais elevados de sódio são observados na parte Norte da ilha e ao longo de toda a costa ocidental (Fig. 5.11) e resultam muito provavelmente dos fenómenos de mistura com água do mar (intrusão salina). Ao representar-se na Fig. 5.12, a evolução do conteúdo de sódio com a distância à costa, verifica-se que: (1) os valores médios são em geral inferiores a 100-150 mg/l; (2) em todas as unidades hidrogeológicas se verifica um aumento de sódio junto à costa; e, (3) na Unidade de Base verifica-se um aumento de sódio nas zonas mais altas da ilha.

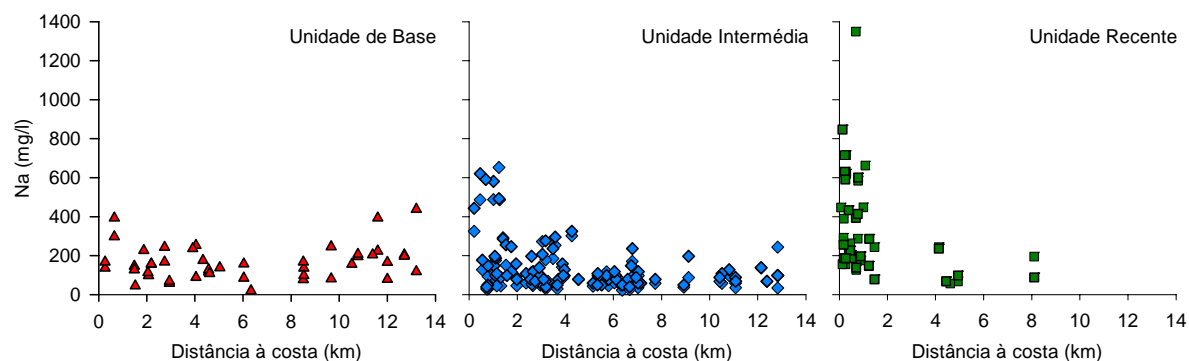


Fig. 5.12. Comparação da evolução das concentrações do ião sódio com a distância à costa na ilha de Santiago.

Na Tabela 5.5 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de sódio nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Tabela 5.5. Dados estatísticos básicos dos valores de sódio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1. ^a Campanha			2. ^a Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	160,9	118,2	351,6	170,6	147,9	314,1
Mediana (P_{50})	150,9	77,9	253,1	157,5	98,4	231,3
Moda (M_o)	136,3	68,1	*	167,3	98,4	187,0
Valor Mínimo (MIN)	45,2	22,6	67,6	19,7	39,4	67,6
Valor Máximo (MAX)	438,0	652,2	1349	393,8	620,2	846,6
Percentis						
P_{10}	64,0	36,0	120,7	79,7	49,2	89,6
P_{25} (Q_1)	94,1	53,5	170,3	110,7	78,8	157,5
P_{75} (Q_3)	204,1	116,9	447,2	204,3	172,3	428,2
P_{90}	250,2	264,8	667,3	245,1	282,5	618,2
$P_{97.7}$	363,4	487,1	1072	393,8	584,0	742,0
Desvio Padrão (σ)	87,4	119,0	292,7	90,4	126,9	215,1
IQR	110,0	63,4	276,8	93,5	93,5	270,7
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

Os valores de sódio da água subterrânea variam entre um mínimo de 19,7 e um máximo de 438 mg/l na Unidade de Base, entre 22,6 e 652 mg/l na Unidade Intermédia e entre 67,6 e

1349 mg/l na Unidade Recente, observando-se os valores mais elevados na Unidade Recente, por ser a mais permeável e mais explorada na proximidade da costa. Em termos de valores médios, a Unidade de Base e Unidade Intermédia têm valores próximos que variam entre 120 e 170 mg/l enquanto a Unidade Recente tem valores bastante mais elevados, superiores a 300 mg/l.

5.2.4.2 Potássio (K)

Da análise da distribuição espacial de potássio nas águas subterrâneas da ilha de Santiago (Fig. 5.13) verifica-se que as concentrações mais elevadas são observadas em zonas onde predomina a Unidade de Base (Complexo eruptivo interno antigo), tanto na parte central como na parte Norte e Sudoeste da ilha. Na zona da ribeira dos Flamengos também se verificam concentrações mais elevadas.

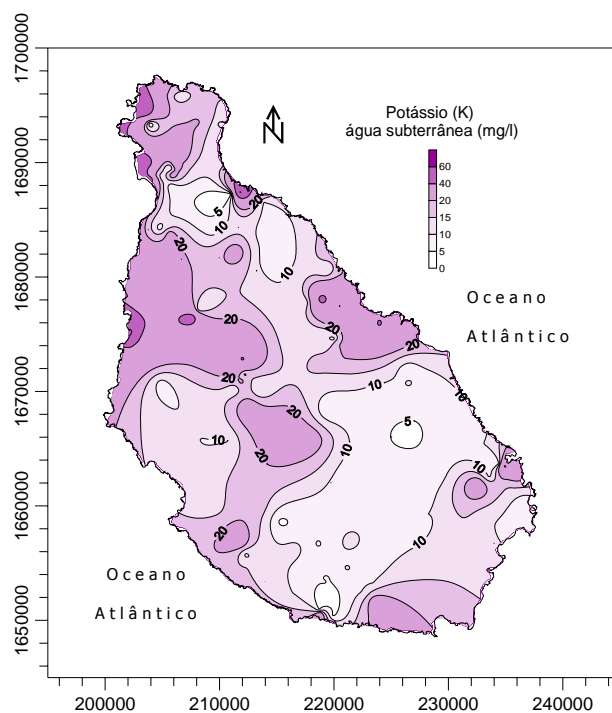


Fig. 5.13. Distribuição espacial das concentrações de potássio na água subterrânea da ilha de Santiago.

A origem do potássio nas águas subterrâneas pode estar relacionada com processos de interacção água – rochas vulcânicas alcalinas (escoadas lávicas, vulcanitos, traquitos), ricas em minerais como os feldspatos potássicos, feldspatóides e zeólitos. Quer os feldspatóides, quer os zeólitos, são identificados abundantemente nas fissuras do Complexo eruptivo interno antigo, onde ocorrem frequentemente sob a forma de cristais bem desenvolvidos (Matos Alves *et al.*, 1979). Como a circulação de água no Complexo eruptivo interno antigo se dá preferencialmente ao longo

das zonas de fractura, podemos talvez encontrar a justificação para os valores elevados de potássio nas águas captadas nesta unidade hidrogeológica. Nesta unidade existem ainda zonas onde terá ocorrido metassomatismo potássico (Matos Alves *et al.*, 1979).

A presença do ião potássio nas águas subterrâneas pode ainda estar relacionada com alguns factores de origem antrópica, como a contaminação agrícola, já que o potássio é utilizado na composição química dos fertilizantes. No entanto, a mobilidade do potássio em solução aquosa é limitada devido à capacidade de retenção nos solos e nos produtos litológicos de alteração secundária (nomeadamente nas argilas).

Na Tabela 5.6 são apresentados e resumidos os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de potássio nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de potássio da água subterrânea variam entre um mínimo de 4,1 e um máximo de 51,7 mg/l na Unidade de Base, entre 1,8 e 64,6 mg/l na Unidade Intermédia e entre 6,0 e 347,9 mg/l na Unidade Recente, sendo este último valor elevado observado num poço com sinais claros de salinização (CE = 5350 μ S/cm; Cl = 14003 mg/l) podendo ser considerado um valor anómalo e não característico da unidade. Em termos de valores médios, as três unidades hidrogeológicas apresentam valores que variam entre 10 e 20 mg/l, sendo que a Unidade Recente apresenta os valores médios mais elevados.

Tabela 5.6. Dados estatísticos básicos dos valores de potássio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	18,2	14,9	23,6	18,9	17,6	35,4
Mediana (P_{50})	17,4	10,0	17,0	13,9	12,9	20,9
Moda (M_0)	9,9	9,9	6,9	11,9	10,9	9,9
Valor Mínimo (MIN)	4,1	1,8	6,0	8,9	2,0	6,0
Valor Máximo (MAX)	46,6	55,6	61,5	51,7	64,6	348
Percentis						
P_{10}	7,8	5,5	6,9	9,9	8,0	8,0
P_{25} (Q_1)	9,9	7,9	8,7	10,9	9,9	9,9
P_{75} (Q_3)	21,8	18,9	37,7	20,6	21,6	28,6
P_{90}	27,5	29,1	51,8	37,0	33,5	41,0
$P_{97.7}$	44,0	46,2	58,1	45,0	50,6	203
Desvio Padrão (σ)	10,2	11,2	17,4	11,3	12,1	69,1
IQR	11,9					
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

5.2.4.3 Cálcio (Ca)

O cálcio é dos catiões principais presentes nas águas subterrâneas da ilha de Santiago aquele que é menos abundante, o que quer dizer que apesar da presença de algumas rochas carbonatadas (carbonatitos, calcários e calcarenitos) junto ao litoral em vários locais da ilha e da identificação de

minerais de cuja composição o cálcio é um ião fundamental, a sua presença nas principais formações hidrogeológicas será limitado. Da análise da Fig. 5.14 pode verificar-se que as concentrações mais elevadas são observadas ao longo da costa Este e na parte Noroeste da ilha. A sua origem pode estar associada a diversos processos geoquímicos, tais como:

- a dissolução de minerais carbonatados como a calcite, que apesar de não ser muito abundante, existe e é observável nas principais formações vulcânicas (embora a maioria das amostras de água revele subsaturação relativamente à calcite, nos furos mais profundos que captam água com maiores tempos de residência, o estado de equilíbrio ou mesmo sobressaturação é com frequência atingido);
- a dissolução de rochas carbonatíticas na parte Noroeste da ilha (Arruela, Tarrafal);
- a hidrólise de plagioclases calco-sódicas e da alteração de minerais como piroxenas e anfíbulas;
- os processos de intrusão salina, por intercâmbio catiónico com o ião sódio.

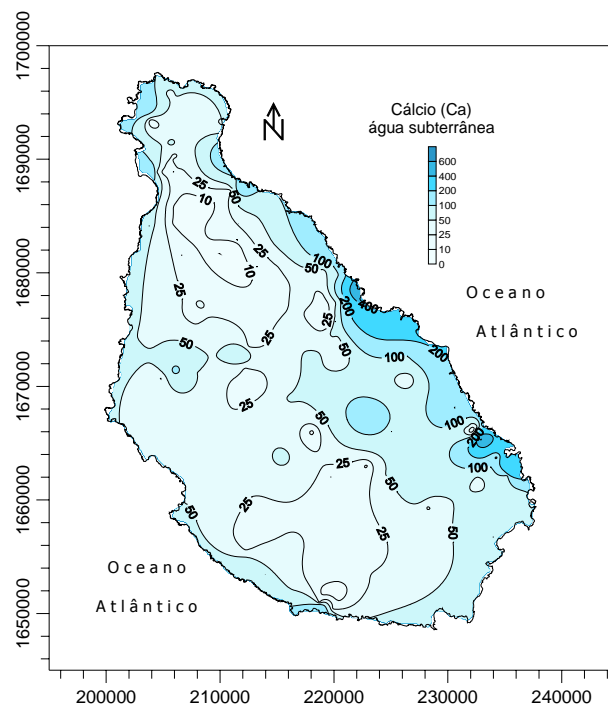


Fig. 5.14. Distribuição espacial das concentrações de cálcio na água subterrânea da ilha de Santiago.

Na Tabela 5.7 são apresentados e resumidos os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de cálcio nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de cálcio da água subterrânea variam entre um mínimo de 8,0 e um máximo de 126,4 mg/l

na Unidade de Base, entre 6,4 e 1280 mg/l na Unidade Intermédia e entre 32,0 e 3496 mg/l na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados numa nascente e num poço com sinais claros de salinização (CE = 16600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; CE = 53500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). Em termos de valores médios, a Unidade de Base e Unidade Intermédia têm valores relativamente próximos que variam entre 36 e 54 mg/l enquanto a Unidade Recente tem valores bastante mais elevados, superiores a 150 mg/l.

Tabela 5.7. Dados estatísticos básicos dos valores de cálcio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	53,7	56,5	152,7	36,2	63,1	270,1
Mediana (P_{50})	49,8	27,2	111,9	36,0	25,6	69,6
Moda (M_o)	36,8	17,6	*	46,4	22,4	54,4
Valor Mínimo (MIN)	8,0	6,4	41,6	8,0	12,8	32,0
Valor Máximo (MAX)	126,4	940,0	572,0	91,2	1280,0	3496,0
Percentis						
P_{10}	22,9	17,1	53,9	10,3	19,2	40,0
P_{25} (Q_1)	38,0	19,2	64,8	19,8	22,4	54,4
P_{75} (Q_3)	69,0	47,3	173,6	47,6	44,4	192,4
P_{90}	82,8	78,1	310,2	58,7	70,4	314,9
$P_{97.7}$	106,1	326,6	475,9	77,3	387,9	2363,1
Desvio Padrão (σ)	25,7	125,8	126,2	20,3	174,1	711,0
IQR	31,0	28,1	108,8	27,8	22,0	138,0
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

5.2.4.4 Magnésio (Mg)

O magnésio é um catião relativamente abundante nas águas subterrâneas da ilha de Santiago fazendo com que em determinadas zonas da ilha predominem as águas de fácies química predominantemente magnésiana. Da análise da Fig. 5.15 pode verificar-se que em grande parte da ilha de Santiago as concentrações de magnésio são superiores a 25 mg/l e que as concentrações mais elevadas ocorrem nas proximidade da costa.

Na Tabela 5.8 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de magnésio nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de magnésio da água subterrânea variam entre um mínimo de 14,6 e um máximo de 116,6 mg/l na Unidade de Base, entre 5,8 e 1140 mg/l na Unidade Intermédia e entre 22,4 e 3295 mg/l na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados novamente em pontos de água com sinais claros de salinização. Em termos de valores médios, a Unidade de Base e Unidade Intermédia têm valores muito próximos de 50 mg/l enquanto a Unidade Recente tem valores bastante mais elevados, superiores a 100 mg/l.

A origem de magnésio nas principais formações hidrogeológicas pode estar relacionada com a dissolução de minerais carbonatados como a dolomite e a magnesite relativamente abundantes nas rochas vulcânicas da ilha de Santiago (Martins, 2003); ou, com a hidrólise dos silicatos e aluminosilicatos, nomeadamente da olivina, e – menos frequente e, quando existe, mais escassa da augite e também do vidro vulcânico, que é facilmente alterável quimicamente e contém abundantes micrólitos e grânulos de clinopiroxena e minerais opacos (Matos Alves *et al.*, 1979).

Saliente-se que a maioria das águas analisadas em furos profundos atingiram o estado de saturação relativamente à dolomite e magnesite. Tal já não se verificou em amostras de água de circulação mais recente e recolhidas em poços e nascentes.

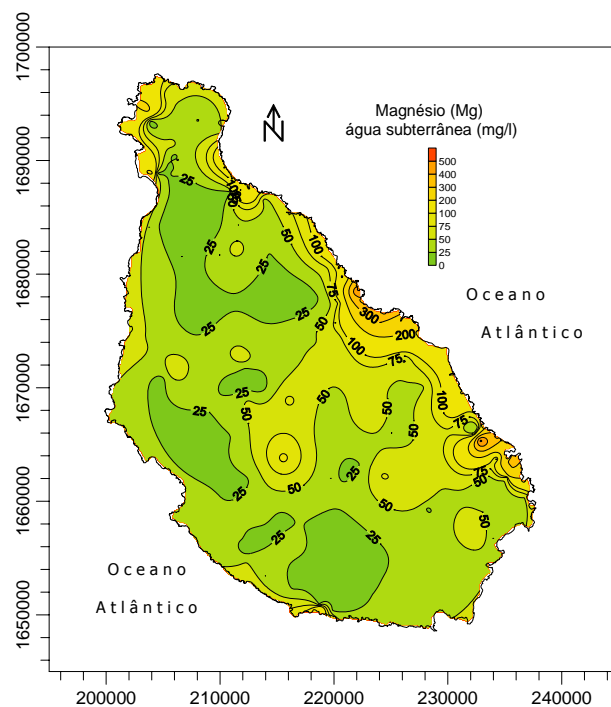


Fig. 5.15. Distribuição espacial das concentrações de magnésio na água subterrânea da ilha de Santiago.

De salientar que o facto da relação molar Ca/Mg ser inferior a 1 na maioria das amostras de água nas três unidades hidrogeológicas indica que ocorre dissolução e/ ou hidrólise maioritariamente de minerais magnesianos relativamente aos cálcicos (Fig. 5.16). Verifica-se ainda que esta relação molar Ca/Mg não é afectada com a variação da distância à costa, mesmo nas amostras de salinidade mais elevada.

Tabela 5.8. Dados estatísticos básicos dos valores de magnésio (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	54,9	52,7	134,7	53,9	54,0	255,3
Mediana (P_{50})	54,6	26,8	102,4	48,6	27,2	91,4
Moda (M_o)	*	15,6	50,5	42,8	14,6	47,6
Valor Mínimo (MIN)	14,6	9,4	25,3	16,5	5,8	22,4
Valor Máximo (MAX)	107,9	884,5	454,4	116,6	1139,7	3295,1
Percentis						
P_{10}	23,1	14,2	43,1	27,2	13,6	35,7
P_{25} (Q_1)	37,0	17,8	51,0	42,8	16,8	47,6
P_{75} (Q_3)	74,1	53,5	160,6	63,7	49,3	161,1
P_{90}	81,2	65,1	281,1	70,9	63,9	278,7
$P_{97.7}$	96,6	301,8	404,1	110,5	215,6	1879,6
Desvio Padrão (σ)	23,8	114,9	108,0	22,8	135,7	669,1
IQR						
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

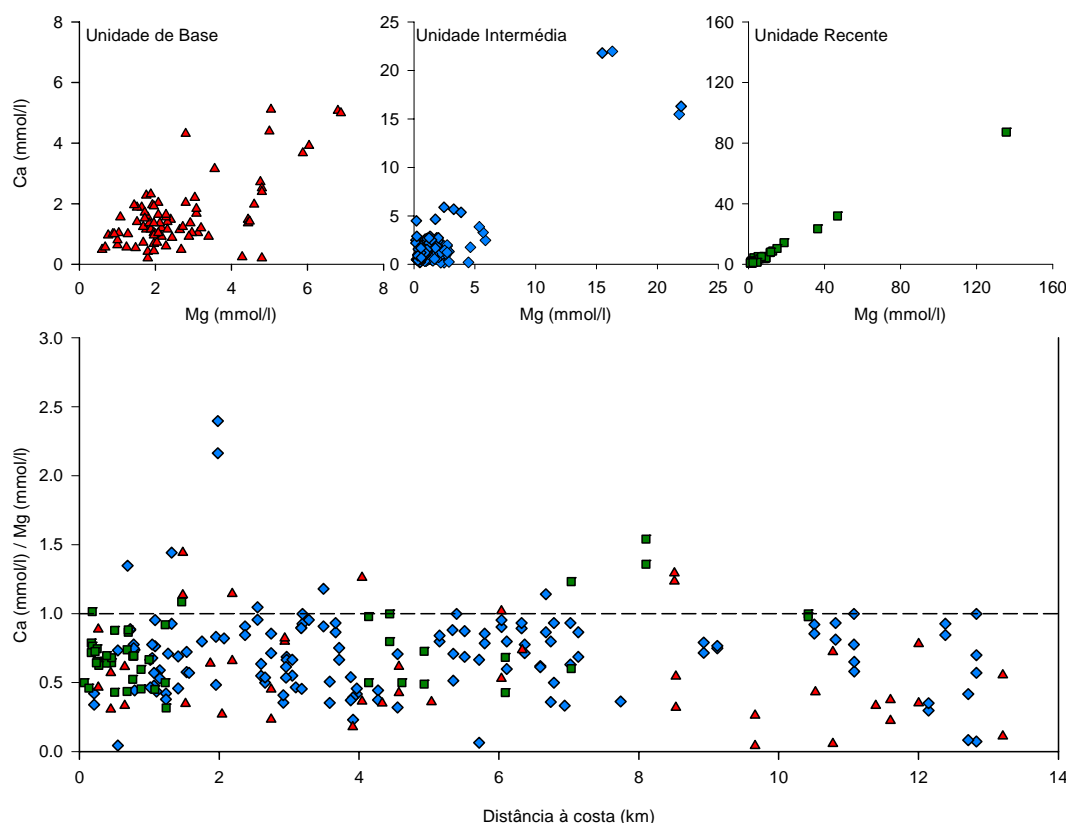


Fig. 5.16. Evolução da relação molar Ca/ Mg nas águas subterrâneas da ilha de Santiago e influência da proximidade ao mar.

5.2.4.5 Silício (Si)

O conteúdo de silício na água subterrânea é relativamente elevado não variando de modo significativo entre as três unidades hidrogeológicas, que apresentam valores médios entre os 13 e 19 mg/l. No contexto da ilha, as concentrações médias de silício resultam fundamentalmente da hidrólise dos minerais silicatados, que apresentam normalmente uma cinética química relativamente lenta, e de vidro vulcânico, cuja a alteração química é bastante mais rápida e responsável por concentrações de $\text{SiO}_2 > 0,5$ mmol/l. A maioria das amostras de água subterrânea revela saturação relativamente à sílica.

Na Tabela 5.9 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de silício nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de silício da água subterrânea variam entre um mínimo de 7,6 e um máximo de 31,4 mg/l na Unidade de Base, entre 6,5 e 37 mg/l na Unidade Intermédia e entre 0,8 e 23,9 mg/l na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados na Unidade de Base e Intermédia durante a primeira campanha realizada em Junho 2003.

Tabela 5.9. Dados estatísticos básicos dos valores de silício (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	19,6	19,1	14,9	12,8	13,5	12,3
Mediana (P_{50})	19,0	18,5	15,0	12,4	13,5	12,4
Moda (M_o)	16,4	15,8	15,6	12,2	13,1	14,3
Valor Mínimo (MIN)	11,4	11,3	0,8	7,6	6,5	0,8
Valor Máximo (MAX)	31,4	37,0	23,9	16,6	19,0	18,5
Percentis						
P ₁₀	13,2	13,5	8,9	10,0	10,5	8,6
P ₂₅ (Q ₁)	15,8	15,8	12,5	11,6	11,9	11,4
P ₇₅ (Q ₃)	23,2	22,0	19,9	14,3	15,2	14,5
P ₉₀	26,4	24,2	22,6	15,7	16,3	16,8
P _{97.7}	30,6	31,1	23,6	16,3	18,6	17,9
Desvio Padrão (σ)	5,3	5,0	5,9	2,3	2,6	4,0
IQR	7,4	6,2	7,4	2,7	3,3	3,1
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

Da comparação do conteúdo de sílica-álcalis totais (Fig. 5.17) verifica-se que na Unidade de Base o conteúdo máximo de álcalis sucede para valores mais elevados de sílica o que indica uma origem que pode ser comum. Nas outras unidades esta tendência já aparece mascarada pelos processos de salinização.

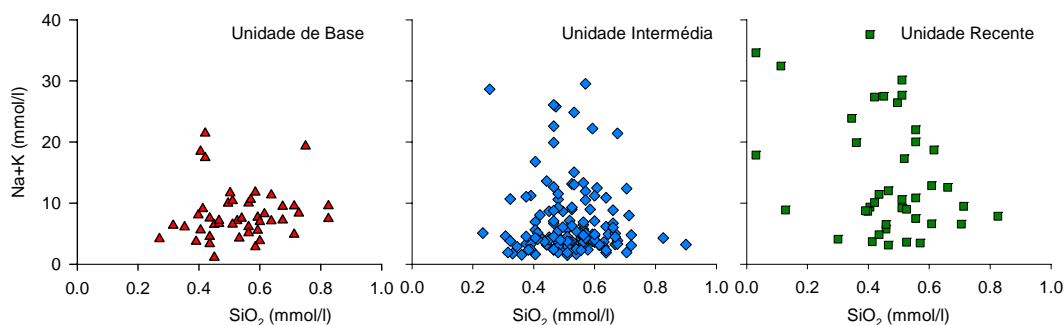


Fig. 5.17. Diagramas de sílica-álcalis totais nas três unidades hidrogeológicas da ilha.

5.2.5 Aniões

De entre os constituintes principais das águas subterrâneas e quando comparados com os catiões, os aniões revelam menor afinidade com o meio rochoso que lhes deu origem. Na ilha de Santiago, o anião mais abundante nas águas subterrâneas é o bicarbonato, seguido do cloreto, sulfato e nitrato ($[\text{HCO}_3^-] > [\text{Cl}^-] \geq [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{NO}_3^-]$). Como veremos nas secções seguintes, alguns destes aniões podem ter na sua origem processos naturais de interacção água-rocha e outros resultam maioritariamente de processos potenciados pela actividade humana como a contaminação agrícola.

5.2.5.1 Cloreto (Cl)

O cloreto é um anião presente nas águas subterrâneas da ilha, que resulta de forma directa ou indirecta da água do mar, já que normalmente os aportes provenientes do próprio material rochoso ou de processos de lixiviação dos solos são considerados quase insignificantes. Daí que nos cálculos de recarga subterrânea realizados no capítulo 4, o cloreto tenha sido considerado um ião conservativo e utilizado como traçador da água de infiltração.

A principal origem de cloreto na ilha de Santiago é o aerosol marinho, que transporta e deposita sais de cloreto de sódio que facilmente se dissolvem na água da chuva e dos nevoeiros, infiltrando-se em profundidade. A outra origem de cloreto são os processos de intrusão salina que se verificam ao longo de toda a costa oriental de Santiago, com maior gravidade nas zonas de Santa Cruz, Achada da Baleia e do Tarrafal (Fig. 5.18). Na ausência deste tipo de contaminação, as águas subterrâneas da ilha apresentam concentrações médias de cloretos em geral inferiores a 150 mg/l.

Na Tabela 5.10 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de cloreto nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de cloreto da água subterrânea variam entre um mínimo de 49,6 e um máximo de 535 mg/l na Unidade de Base, entre 26,2 e 5708 mg/l na Unidade Intermédia e entre 42,5 e 14003 mg/l na

Unidade Recente, sendo que estes valores máximos resultam dos já referidos fenómenos de intrusão salina por sobreexploração das unidades hidrogeológicas junto à costa e normalmente para abastecimento das zonas agrícolas.

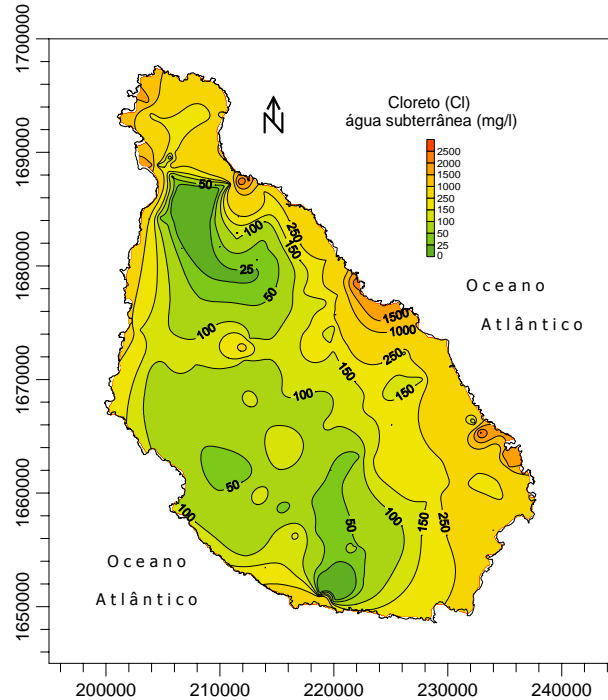


Fig. 5.18. Distribuição espacial das concentrações de cloreto na água subterrânea da ilha de Santiago.

Em termos de valores médios, a Unidade de Base e a Unidade Intermédia têm valores bastante próximos, que variam entre 200 e 260 mg/l, enquanto a Unidade Recente tem valores médios bastante mais elevados, superiores a 500 mg/l.

Tabela 5.10. Dados estatísticos básicos dos valores de cloreto (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	192,6	248	859	201	260	1300
Mediana (P_{50})	173,7	85,1	624	177,3	106,4	546
Moda (M_0)	*	99,3	312	177,3	42,5	*
Valor Mínimo (MIN)	49,6	26,2	56,7	49,6	28,4	42,5
Valor Máximo (MAX)	535	4226	2418	525	5708	14003
Percentis						
P_{10}	89,6	40,8	160,9	114,1	42,5	121,2
P_{25} (Q_1)	112,2	53,7	291	143,6	49,6	273
P_{75} (Q_3)	230	208	1429	236	200	1182
P_{90}	304	380	1914	301	355	1690
$P_{97.7}$	473	1644	2365	429	1410	8325
Desvio Padrão (σ)	109,4	574	731,6	96,4	715,8	2833
IQR	118,2	153,9	1138	92,2	150,7	909
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

Da comparação da relação Br/Cl na Fig. 5.19 verifica-se que as águas subterrâneas das três unidades hidrogeológicas apresentam uma razão Br/Cl aproximadamente constante e as amostras caem sobre um recta que representa o quociente destes iões na água do mar ($[Br]/[Cl] = 0,0016$). No entanto, se analisarmos na mesma Fig. 5.19 o gráfico Na/Cl, pode-se concluir que esta relação só é próxima da existente na água do mar para as amostras mais diluídas. Nas amostras mais mineralizadas o sódio parece estar a ser retido nos minerais argilosos por mecanismos de intercâmbio catiónico, o que confirma que existe efectivamente um processo de salinização por intrusão salina (neste caso, marinha).

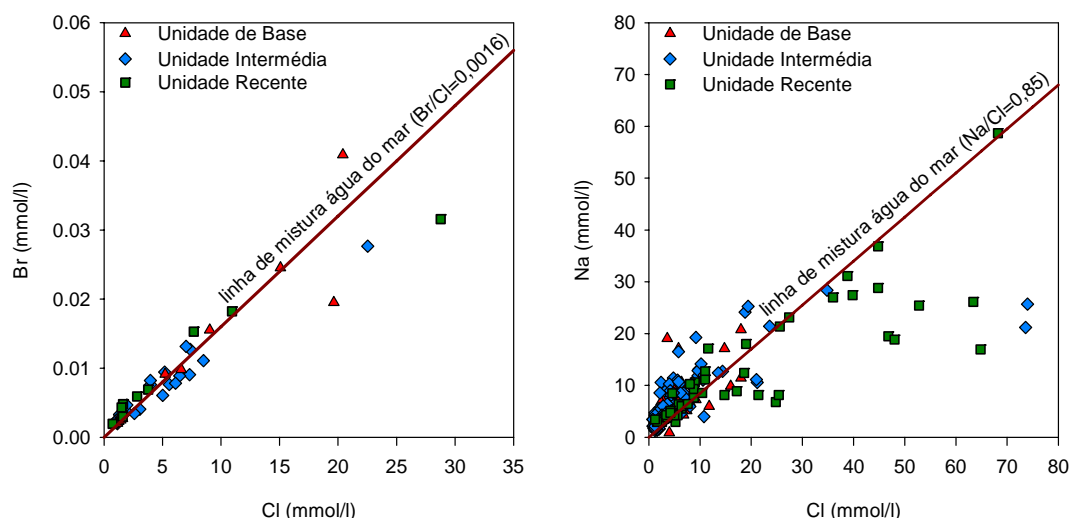


Fig. 5.19. Relação Br/Cl e Na/Cl na água subterrânea da ilha de Santiago.

5.2.5.2 Bicarbonato (HCO_3)

O bicarbonato é, na maioria das águas amostradas, o anião mais importante. As suas concentrações mais elevadas verificam-se no interior e principais zonas de recarga da ilha (Fig. 5.20). O ião bicarbonato tem a sua origem na infiltração da água de recarga e na dissolução de minerais carbonatados e/ou reacção com minerais silicatados. A hidrólise de silicatos, nomeadamente da piroxena, presente com grande expressão nos basaltos, mas também dos feldspatos constitui um processo potenciador da dissolução deste anião nas águas subterrâneas de Santiago.

Verifica-se ainda um elevado coeficiente de correlação entre as concentrações de bicarbonato e o pH das águas subterrâneas, o que indica que este ião poderá ter um papel determinante no comportamento dos valores de pH muito próximos da neutralidade (7,0-7,5).

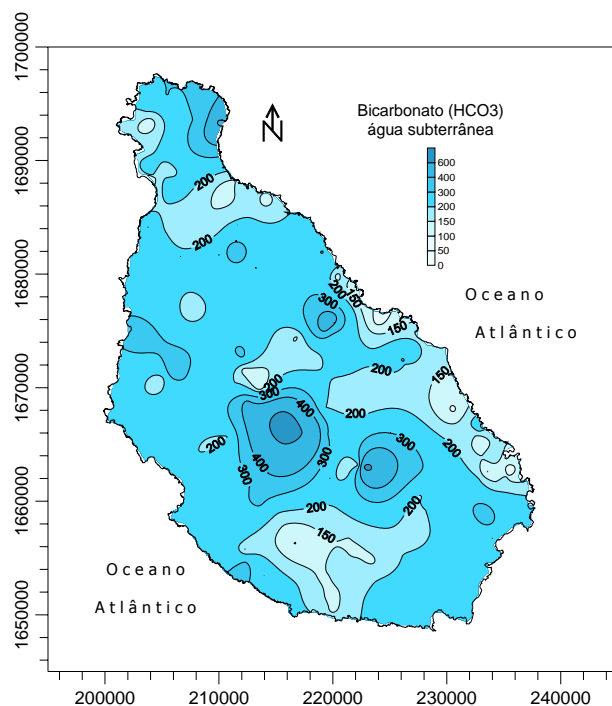


Fig. 5.20. Distribuição espacial das concentrações de bicarbonato na água subterrânea da ilha de Santiago.

Na Tabela 5.11 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de bicarbonato nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Tabela 5.11. Dados estatísticos básicos dos valores de bicarbonato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago (* não foi possível calcular).

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	334,2	202,3	189,7	320,9	250,2	219,3
Mediana (P_{50})	294,1	185,5	185,5	297,8	241,6	228,2
Moda (M_o)	*	161,1	109,8	*	192,8	236,8
Valor Mínimo (MIN)	158,7	78,1	78,1	146,4	107,4	100,1
Valor Máximo (MAX)	707,8	566,3	372,0	644,4	546,7	331,9
Percentis						
P_{10}	184,3	122,8	96,2	208,7	165,7	116,2
P_{25} (Q_1)	234,3	155,0	119,0	232,5	192,8	169,0
P_{75} (Q_3)	430,2	238,0	220,3	363,7	282,5	281,9
P_{90}	518,4	280,4	307,3	462,0	352,7	304,1
$P_{97.7}$	683,3	403,3	362,0	629,0	423,0	324,9
Desvio Padrão (σ)	144,5	82,9	81,6	123,8	78,0	70,0
IQR	195,9	83,0	101,3	131,2	89,7	112,9
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

Os valores de bicarbonato da água subterrânea variam entre um mínimo de 146 e um máximo de 708 mg/l na Unidade de Base, entre 78 e 566 mg/l na Unidade Intermédia e entre 78 e

372 mg/l na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados desta vez na Unidade de Base, localizada mais no interior da ilha longe dos fenómenos de intrusão salina. Em termos de valores médios, as concentrações do bicarbonato variam entre 180 e 300 mg/l diminuindo da Unidade de Base > Unidade Intermédia > Unidade Recente.

5.2.5.3 Sulfato (SO₄)

O sulfato contribui apenas com cerca de 10% para a concentração aniónica total, sendo dos iões menos abundantes nas águas subterrâneas de Santiago. A sua distribuição espacial, representada na Fig. 5.21, revela no entanto algumas anomalias positivas junto à costa e na zona da Formação dos Órgãos. Este aumento da concentração de sulfato na zona centro-Este da ilha poderá estar relacionada com a presença de rochas carbonatadas (calcários e calcarenitos) correspondentes à fácies marinha da Formação dos Órgãos. Aliás nestas zonas já se verificavam concentrações elevadas de bicarbonato. Ao longo da costa, o sulfato aumenta também nas zonas de intrusão salina, uma vez que é um dos iões mais abundantes na água do mar.

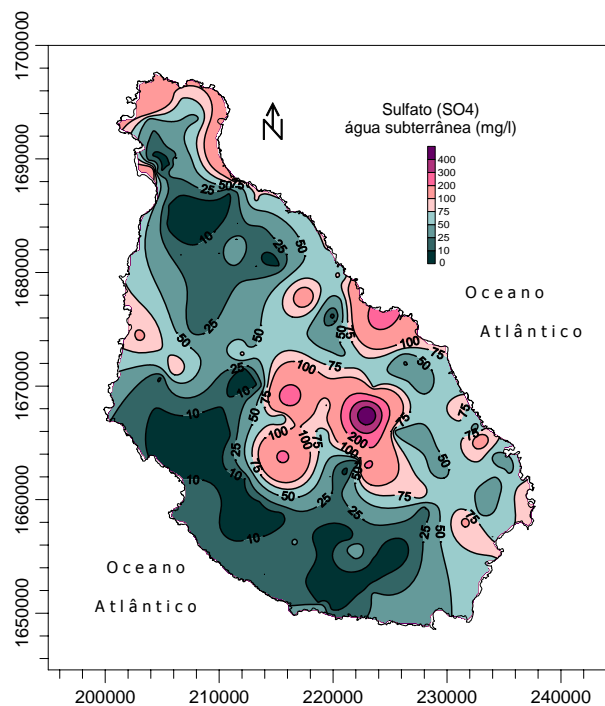


Fig. 5.21. Distribuição espacial das concentrações de sulfato na água subterrânea da ilha de Santiago.

Na Tabela 5.12 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de sulfato nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de sulfato da água subterrânea variam entre um mínimo de 4,6 e um máximo de 296 mg/l na

Unidade de Base, entre <0,03 e 364 mg/l na Unidade Intermédia e entre 18,2 e 546 mg/l na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados na Unidade Recente. Em termos de valores médios, as concentrações do sulfato não são tão heterogéneas, variando entre 35 e 111 mg/l, sendo as concentrações médias mais baixas observadas na Unidade Intermédia.

Tabela 5.12. Dados estatísticos básicos dos valores de sulfato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	77,7	35,0	111,5	64,1	42,4	72,2
Mediana (P_{50})	50,1	18,2	76,2	50,1	27,3	68,3
Moda (M_o)	54,6	18,2	45,5	45,5	9,1	36,4
Valor Mínimo (MIN)	4,6	<0,03	18,2	9,1	4,6	13,7
Valor Máximo (MAX)	295,8	209,4	546,3	182,1	364,2	182,1
Percentis						
P_{10}	16,7	4,9	36,4	27,3	9,1	27,3
P_{25} (Q_1)	33,8	8,3	45,5	36,4	9,1	36,4
P_{75} (Q_3)	85,6	45,5	121,0	81,9	45,5	91,1
P_{90}	200,3	83,6	173,9	107,4	97,4	135,7
$P_{97.7}$	264,6	149,7	423,0	168,9	180,8	177,7
Desvio Padrão (σ)	74,8	40,4	114,6	41,7	55,4	46,7
IQR	51,9	37,3	75,5	45,5	36,4	54,6
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

5.2.5.4 Nitrato (NO_3)

Na ilha de Santiago os nitratos não existem em condições naturais (prístinas) resultando da contaminação difusa produzida pela agricultura e podem também estar associados à contaminação produzida pelas fossas sépticas e não existência de rede de drenagem de águas residuais. Das amostras de água subterrânea estudadas na 1.ª campanha de campo cerca de 96% apresentava concentrações positivas de nitratos (98% na 2.ª campanha). Destas amostras cerca de 15% excedia o valor máximo admissível para consumo humano (VMA=11,3 mg NO_3 -N).

Na Tabela 5.13 são apresentados os dados estatísticos básicos relativos à variação dos valores de nitrato nas três principais unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago. Os valores de nitrato da água subterrânea variam entre um mínimo inferior ao limite de detecção (<0,1 mg/l) e um máximo de 23,0 mg/l em NO_3 -N na Unidade de Base, entre <0,1 e 20,6 mg/l de NO_3 -N na Unidade Intermédia e entre <0,1 e 66,6 mg/l de NO_3 -N na Unidade Recente, sendo os valores mais elevados observados na Unidade Recente nas proximidades de zonas agrícolas como Cidade Velha, Achada Baleia, Santa Cruz, Santa Catarina e Assomada na zona central e Sudoeste da ilha (Fig. 5.22).

Tabela 5.13. Dados estatísticos básicos dos valores de nitrato (mg/l) das águas subterrâneas nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago.

Parâmetro Estatístico	1.ª Campanha			2.ª Campanha		
	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente	Unidade Base	Unidade Intermédia	Unidade Recente
Média (μ)	6,5	5,9	8,5	7,2	5,9	7,3
Mediana (P_{50})	3,8	4,8	4,6	6,1	4,9	7,3
Moda (M_o)	1,2	4,8	0,1	3,6	3,6	9,7
Valor Mínimo (MIN)	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	0,0	0,6
Valor Máximo (MAX)	23,0	20,6	66,6	23,0	20,6	19,4
Percentis						
P_{10}	1,2	1,5	0,0	1,3	2,4	1,9
P_{25} (Q_1)	1,6	2,5	1,7	3,6	2,7	3,6
P_{75} (Q_3)	10,2	8,5	8,8	10,6	8,2	9,7
P_{90}	14,2	13,3	14,8	12,0	12,1	14,1
$P_{97.7}$	19,8	15,9	44,9	20,1	15,7	17,0
Desvio Padrão (σ)	6,0	4,4	14,1	5,4	4,2	4,7
IQR	8,6	6,0	7,1	7,0	5,5	6,1
N.º Furos	18	47	1	13	46	1
N.º Poços	0	0	25	0	0	25
N.º Nascentes	6	28	0	10	28	0

É importante salientar que, em termos de valores médios, as concentrações de nitratos na ilha de Santiago não se podem considerar muito elevadas (valores médios variam entre 6 e 8,5 mg/l de $\text{NO}_3\text{-N}$). Não deixam, no entanto, de ser uma preocupação atendendo a que a maioria dos pontos de água apresentam sinais de contaminação e que a agricultura praticada na ilha não é ainda intensiva.

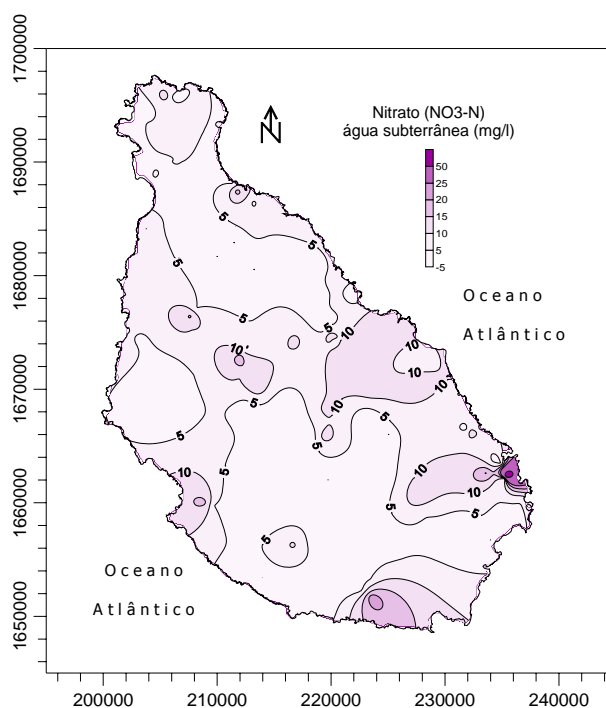


Fig. 5.22. Distribuição espacial das concentrações de nitrato na água subterrânea da ilha de Santiago.

5.2.6 Fácies hidroquímicas

A síntese da composição e evolução química das águas subterrâneas na ilha de Santiago pode ser feita através da descrição da fácies hidroquímica predominante nas três unidades hidrogeológicas e representadas aqui de forma gráfica nos diagramas de Stiff (Fig. 5.23) e Piper (Fig. 5.24).

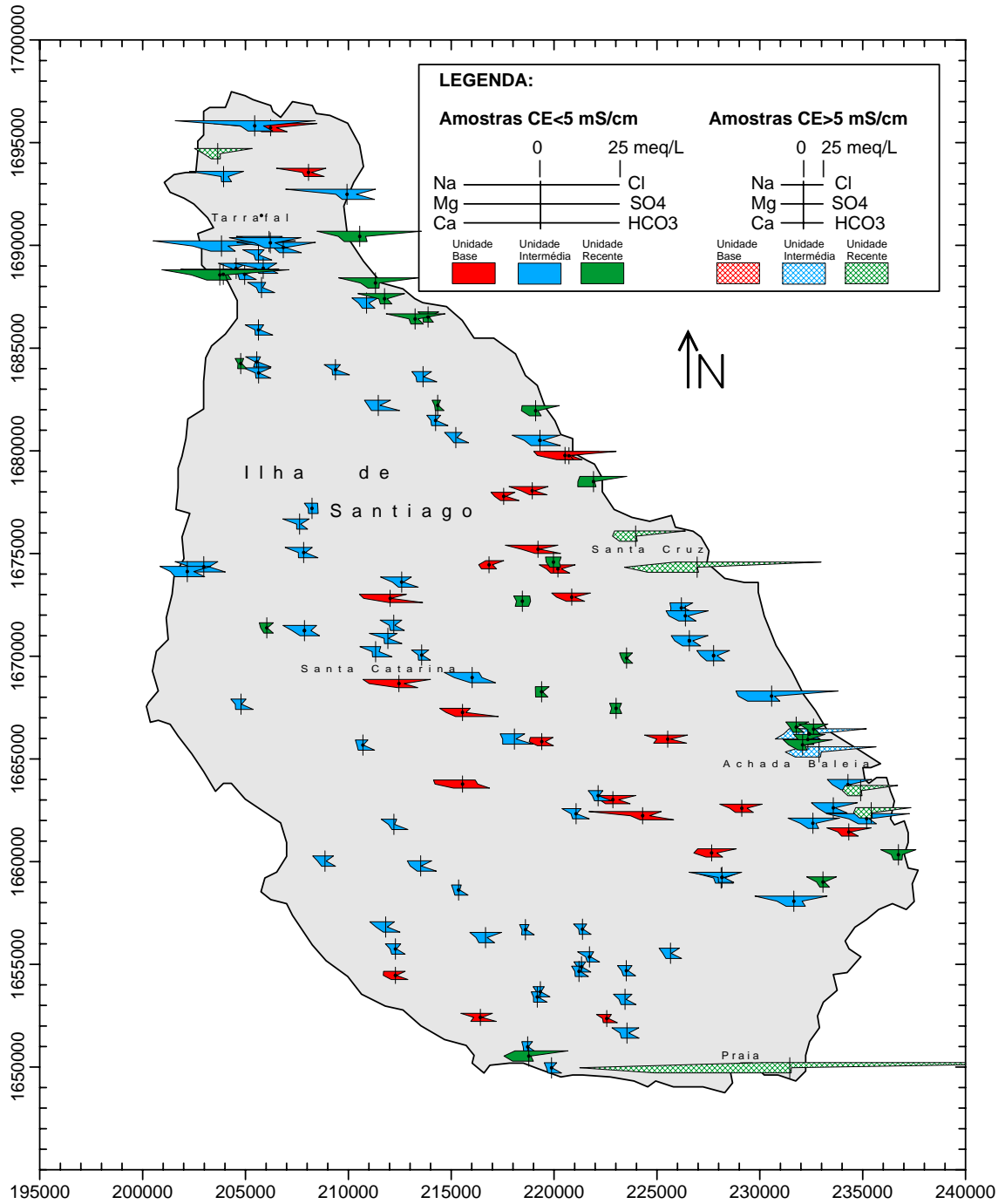


Fig. 5.23. Distribuição das principais fácies hidroquímicas nas diferentes unidades hidrogeológicas.

De uma forma resumida pode-se concluir que estas fácies hidroquímicas são determinadas pela combinação de factores tão diversos como: (1) a composição química da água da chuva; (2) as interacções água/gases/solo durante o processo de infiltração; (3) as interacções água/material aquífero durante o processo de circulação profunda. Outros factores como a altitude, a distância à costa e o tempo de residência no aquífero são também determinantes. O maior ou menor grau de dissolução e hidrólise dos minerais constituintes das rochas, a precipitação de novos minerais e o impacto da actividade agrícola e intrusão salina são os principais responsáveis pelo grau e tipo de mineralização presentes na água subterrânea, podendo produzir alterações significativas da qualidade.

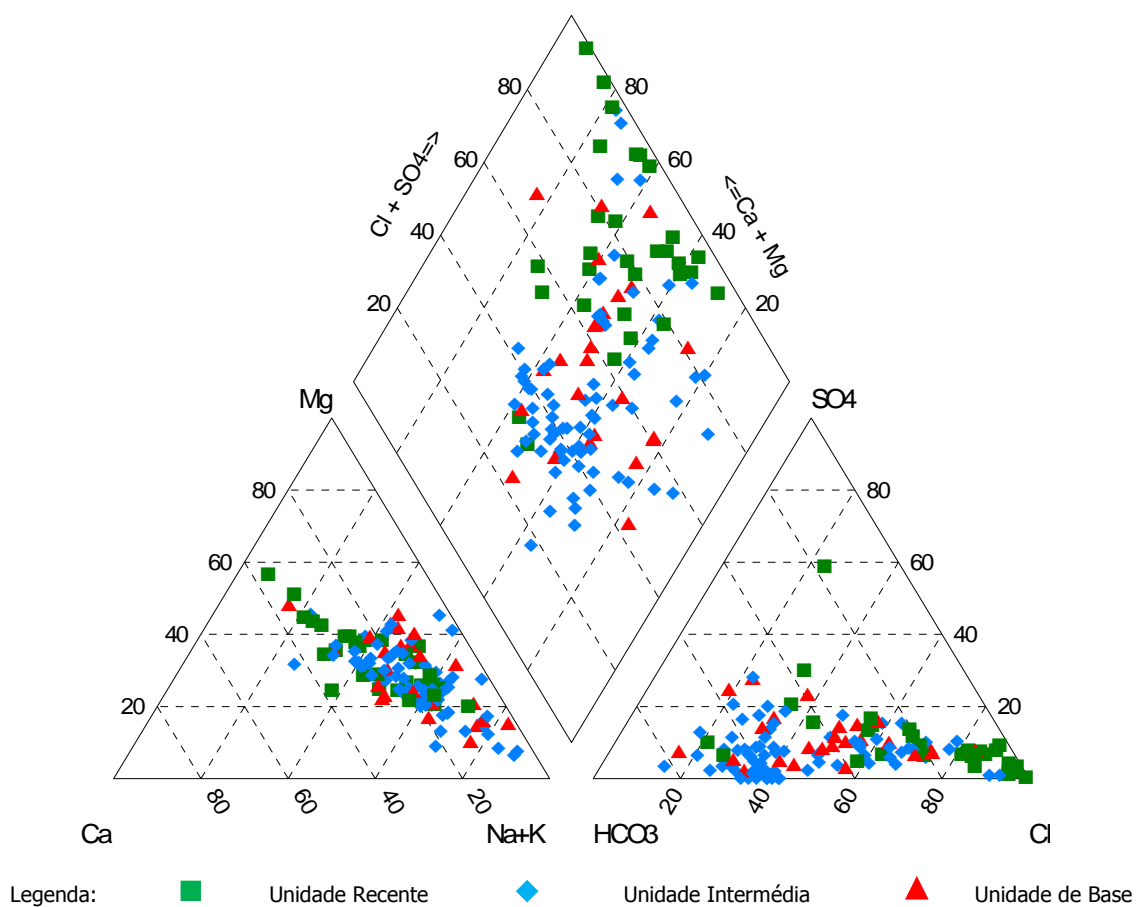


Fig. 5.24. Distribuição das principais fácies hidroquímicas nas diferentes unidades hidrogeológicas.

Na ausência de episódios de contaminação, as águas subterrâneas têm uma composição do tipo Na-HCO₃-Cl nas zonas mais altas da ilha, onde afloram as formações da Unidade Aquífera de Base e Intermédia e onde ocorre grande parte da precipitação. Esta composição, quando em amostras de reduzida condutividade, revela a influência do aerossol marinho na composição da água de infiltração recente. A presença de ião bicarbonato poderá estar relacionada com a reacção

do CO₂ do solo durante o processo de infiltração nas zonas de recarga e com os primeiros estádios de dissolução de minerais carbonatados e hidrólise de minerais silicatados. Os valores de pH destas águas são ligeiramente ácidos (<7,0) e as condutividades eléctricas relativamente baixas (<1000 µS/cm), em parte justificados por as águas terem tempos de residência ainda relativamente curtos.

Ao longo do seu percurso desde as zonas mais altas da ilha (zona de recarga) em direcção à costa (zona de descarga), aumenta o tempo de contacto água-rocha e a água subterrânea tem oportunidade de reagir com os minerais silicatados de forma mais prolongada. Aumenta por isso a concentração de bicarbonato e o pH. Aumentam também as concentrações da maioria dos restantes iões, mas nem por isso se alteram as fácies hidroquímicas.

As águas subterrâneas que circulam na Unidade de Base apresentam uma fácies hidroquímica do tipo cloretada-bicarbonatada sódica (Cl-HCO₃⁻ Na), com valores de condutividade eléctrica que variam entre os 440 e 2750 µS/cm, que se podem considerar ainda relativamente baixos a moderados. O sódio é o catião dominante atingindo valores médios de ±160 mg/l, enquanto os aniões dominantes de cloro e bicarbonato atinge valores médios de 193 e 334 mg/l, respectivamente. O pH oscila entre valores ácidos (6,0) e ligeiramente alcalinos (7,6). Esta unidade hidrogeológica existe na parte central e Sul da ilha, a cotas topográficas correspondentes a altitudes variáveis, com condições de recarga diversas mas permeabilidades limitadas e essencialmente secundárias (por fracturação), o que limita a capacidade como sistema aquífero mas reduz a sua vulnerabilidade à contaminação salina.

As águas subterrâneas que circulam na Unidade Intermédia, a unidade hidrogeológica de maior produtividade da ilha, são em geral pouco mineralizadas e apresentam uma fácies hidroquímica do tipo bicarbonatada-cloretada sódica (HCO₃-Cl-Na). Nas zonas onde ocorrem depósitos piroclásticos, verifica-se localmente o aumento significativo do conteúdo em sódio. Aqui, os valores da condutividade eléctrica são bastante moderados, atingindo valores medianos de 739 µS/cm, podendo esta variar localmente para valores muito elevados (>5000 µS/cm), sobretudo em zonas junto à costa onde o aquífero é sobreexplorado e a captação de água é feita em níveis de fácies submarina da formação do Pico da Antónia (pillow lavas). As águas captadas nesta unidade, apresentam valores de pH ligeiramente inferiores à Unidade Recente e à Unidade de Base. Nas captações implantadas em zonas mais elevadas da ilha, o bicarbonato é o anião predominante atingindo valores medianos ±185 mg/l, enquanto nas zonas mais baixas o anião cloreto atinge valores de 4000 mg/l. O sódio, o catião predominante, atinge valores médios ±113 mg/l, podendo atingir pontualmente valores superiores a 600 mg/l.

As águas subterrâneas que circulam na Unidade Recente captam, como o nome indica, nas formações geológicas mais recentes da ilha, normalmente não consolidadas, de elevada permeabilidade, e localizadas junto à costa, a baixas altitudes (por vezes, sob o nível médio do

mar), o que as torna mais vulneráveis à intrusão salina. A fácies hidroquímica predominante é a cloretada sódica (Cl-Na) associada a valores médios já bastante mais elevados de condutividade eléctrica (2500 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), embora possam ocorrer também águas de fácies cloretada magnésiana (Cl-Mg). Esta formação é muito permeável mas de capacidade de armazenamento limitada, já que facilita a infiltração da água para níveis aquíferos subjacentes e em direcção ao mar. Localmente constituem, por este motivo, importantes zonas de recarga subterrânea nos períodos de precipitação abundante. Quando formam níveis espessos, grosseiros e isentos de argila, possuem elevada porosidade e permeabilidade, pelo que permitem furos de grande produtividade, como se pode observar na parte terminal das ribeiras dos Flamengos, ribeira Seca, ribeira dos Picos e na Achada Baleia.

Nos últimos anos, devido à diminuição da precipitação e à conseqüente diminuição da recarga subterrânea, ao aumento das necessidades de bombagem da água subterrânea para irrigação, tem-se assistido a um rebaixamento do nível freático nesta unidade (Capítulo 3) e ao avanço da intrusão marinha. A salinização tem produzido valores elevados de cloretos (> 2000 mg/l), sódio (> 1300 mg/l) e também de ião bicarbonato, assim como um aumento significativo do pH (pH>8,0).

5.3 Assinatura isotópica das águas subterrâneas

As técnicas isotópicas aplicadas em hidrogeologia utilizam normalmente quer espécies isotópicas ambientais quer artificiais (Mazor, 1991; Clark & Fritz, 1997.). Neste estudo hidrogeoquímico e da qualidade da água da ilha de Santiago, os trabalhos de investigação contemplaram também a utilização de técnicas isotópicas ambientais e que consistiram no estudo das variações de concentração de espécies isotópicas estáveis (oxigénio-18, $\delta^{18}\text{O}$ e deutério, $\delta^2\text{H}$) em 46 amostras de água subterrânea.

No grupo de isótopos estáveis, o oxigénio-18 e o deutério, são os mais importantes e normalmente utilizam-se de forma conjunta, uma vez que são ambos constituintes da molécula da água. Geralmente são bons traçadores dos movimentos da água e de alguns processos de fraccionamento natural que as afectam. O fraccionamento isotópico natural do oxigénio-18 e deutério são produzidos principalmente por processos de evaporação e condensação (Custodio & Llamas, 1983).

Por este estudo não ter tido a possibilidade de analisar o $\delta^{13}\text{C}$ e isótopos radioactivos como o trítio (^3H) e o Carbono-14 (^{14}C) que permitem a datação, sempre que necessário serão utilizados (devidamente referidos) os estudos realizados anteriormente por Akiti (1985), INGRH-Cooperação Espanhola (1994) e Carreira *et al.* (2007). Refira-se que estes últimos autores utilizaram a base de dados físico-química e os pontos de amostragem seleccionados no âmbito deste trabalho para

realizarem a amostragem isotópica, pelo que se poderia considerar que os dados se completam, sendo o autor desta tese co-autor em diversos dos artigos já publicados pelos referidos investigadores. Para os dados isotópicos da água da chuva foram utilizados os resultados publicados pelo INGRH-Cooperação Espanhola (1994) uma vez que os demais autores não analisaram a composição isotópica da água da chuva.

A utilização de isótopos estáveis ambientais e radioactivos, a par do estudo físico-químico, contribuiu de forma decisiva para um melhor conhecimento de algumas características hidrogeológicas da ilha, nomeadamente sobre a (1) a origem e mecanismos de recarga; (2) a relação entre aquíferos superficiais e profundos; (3) a problemática da intrusão salina; (4) os tempos de residência das águas subterrâneas.

5.3.1 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$)

Para o estudo da correlação de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas subterrâneas consideraram-se os resultados das 46 amostras de água recolhidas e a composição isotópica da água da chuva obtida por Atiki (1985) (Fig. 5.25).

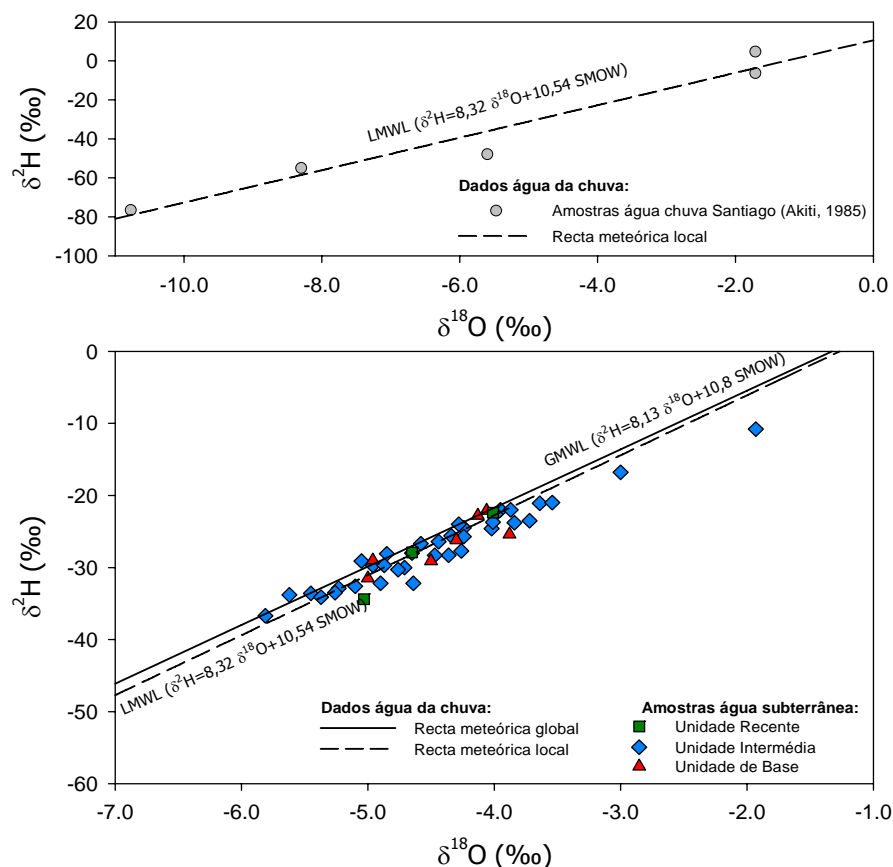


Fig. 5.25. Composição isotópica de ^{18}O e ^2H nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago e comparação com a recta meteórica global (GMWL) e local (LMWL).

Da análise dos resultados da Fig. 5.25 verifica-se que a maioria das amostras se alinha segunda uma recta com um declive próximo dos declives das rectas meteóricas local e da recta meteórica global o que implica que efectivamente a origem da recarga é a água da chuva. No entanto, importa salientar que quase metade das amostras de água subterrânea ficam representadas sob esta recta meteórica local, o que implica que estão ligeiramente empobrecidas relativamente à composição da água da chuva. A explicação para este fenómeno pode estar no facto de só as precipitações intensas e prolongadas contribuem efectivamente para a recarga subterrânea e estas precipitações terão uma composição isotópica mais leve que a composição isotópica média da água da chuva.

A representação das composições isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ versus a altitude (Fig. 5.26) permite identificar um ligeiro efeito da altitude permitindo concluir que a maiores altitudes a recarga subterrânea é formada essencialmente por água da chuva, enquanto a altitudes mais baixas (<200 m) esta recarga é constituída por uma mistura de água de precipitação com água de escorrência superficial ligeiramente evaporada.

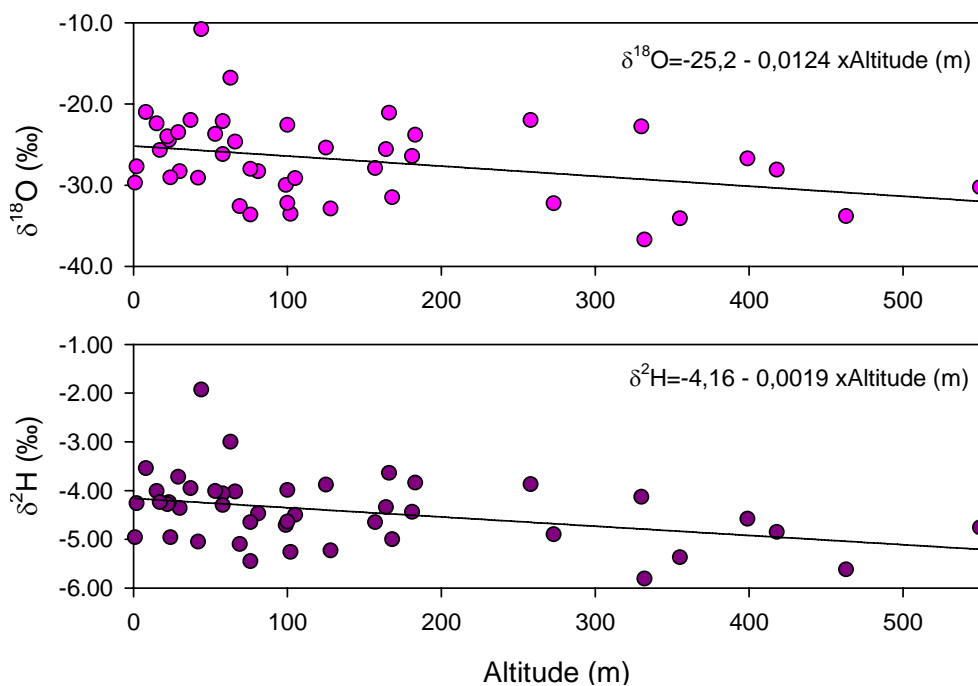


Fig. 5.26. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H nas diferentes unidades hidrogeológicas da ilha de Santiago e comparação com a recta meteórica global (GMWL) e local (LMWL).

A representação das composições isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ versus o tipo de captação representada na Fig. 5.27 pretendia averiguar um possível efeito de fraccionamento com a profundidade de captação, logo com a profundidade e tempo de circulação. No entanto, não é

possível chegar a novas conclusões embora pareça que são efectivamente os furos mais profundos que captam águas isotopicamente mais empobrecidas.

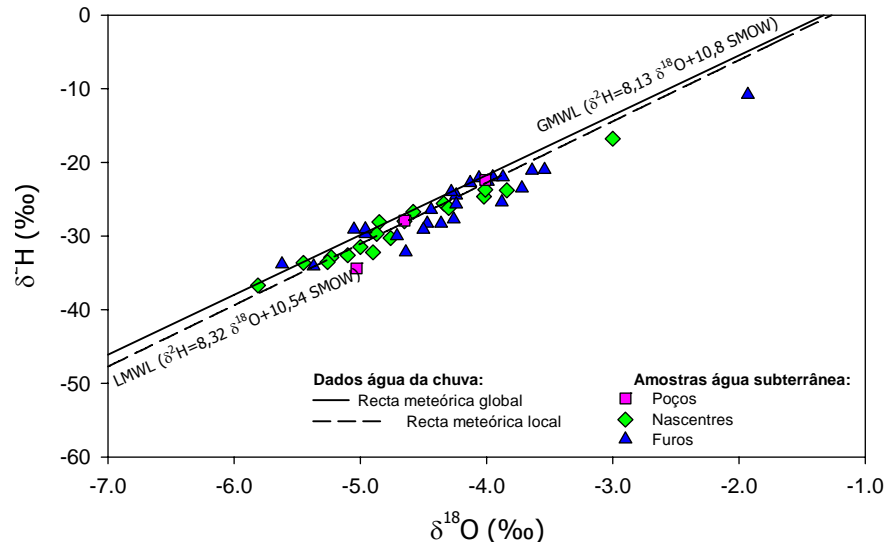


Fig. 5.27. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H com o tipo e profundidade de captação.

A representação das composições isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ versus a condutividade eléctrica (Fig. 5.28) mostra um pequeno enriquecimento isotópico com o aumento de salinidade, o que implica que a evaporação pode também estar a contribuir para um aumento de salinidade nos níveis aquíferos mais superficiais junto à costa.

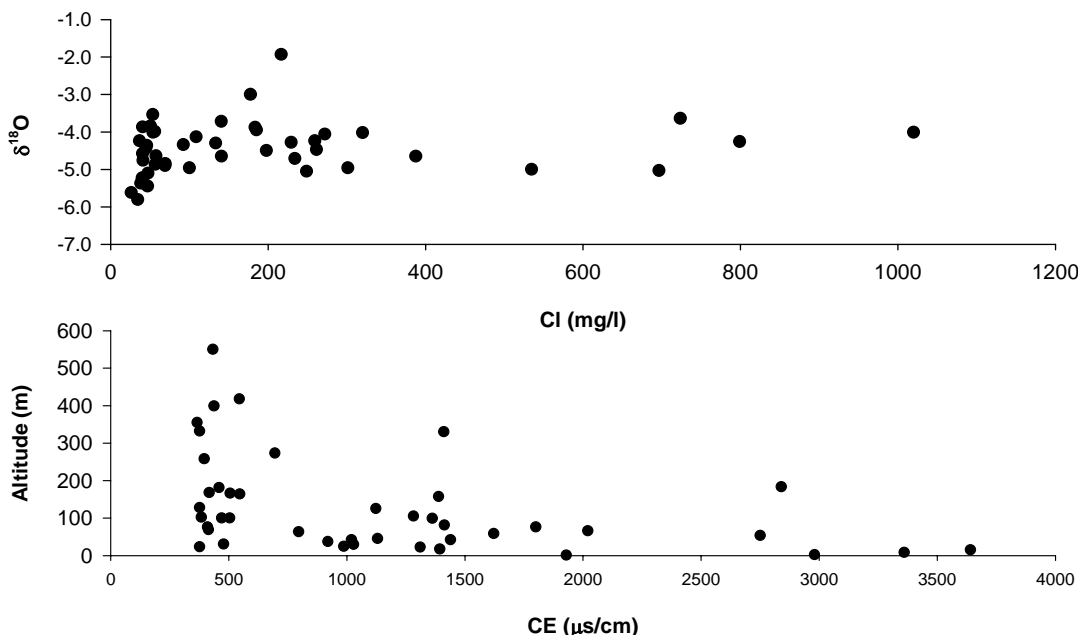


Fig. 5.28. Evolução da composição isotópica de ^{18}O e ^2H com o aumento de salinidade.

5.3.2 Tempos de residência (^3H e ^{14}C)

Embora no âmbito deste estudo de investigação não tenha sido possível realizar determinações de trítio e carbono-14 que permitissem determinar os tempos de residência das águas subterrâneas, entendeu-se ser importante resumir nesta secção as principais conclusões obtidas por outros autores.

Akiti (1985) obteve resultados de trítio que variam entre $0,2 \pm 0,2$ e $1,0 \pm 0,2$ UT para amostras de água subterrânea recolhidas em nascentes e furos de captação profundos na zona do Tarrafal. Estes valores confirmam que a água subterrânea nesta zona foi recarregada antes de 1952, o que implica tempos de residência superiores a 30 anos e uma capacidade de renovação bastante limitada. Akiti (1985) seleccionou ainda dois furos sem trítio (FT-29 e SST-21) e localizados na zona do Tarrafal para determinar carbono-14, confirmando que se tratam de águas infiltradas anteriormente a 1952 mas que no máximo poderão ter 2400 anos ($^{14}\text{C} = 78,6$ e $80,3$ pmC).

Se considerarmos estas idades aparentes máximas ($t_R = 2400$ anos) e tivermos em conta a distância aproximada destes furos à área de recarga (9,7 km) e as espessuras aproximadas da Unidade Intermédia (200-300 m), obtêm-se valores de gradientes hidráulicos (0,003-0,004) compatíveis com os obtidos na piezometria da zonas mais baixas da ilha ($\sim 0,008$).

Ainda, o mesmo autor (Akiti, 1985), na zona da Achada Baleia, obteve resultados de trítio que variam entre $0 \pm 0,2$ e $7,1 \pm 1$ UT para amostras de água subterrânea recolhidas em poços e furos de captação, concluindo que os poços captam água de infiltração recente (têm conteúdos de trítio mais elevados, entre 3,5 e 7,1 UT), enquanto os furos estão a receber água de circulação mais lenta através de fracturas e falhas. No entanto, a análise de carbono-14 confirmou que a maioria dos furos (com excepção do PT-29) capta águas relativamente modernas.

Carreira *et al.* (2007) obteve resultados de trítio que variam entre $0 \pm 0,7$ e $3 \pm 0,7$ UT nas análises de águas de furos, poços e nascentes na ilha de Santiago concluindo que se tratam de águas de infiltração recente ou mistura de águas de diferentes idades.

5.4 Riscos de contaminação da água subterrânea

A qualidade da água subterrânea na ilha de Santiago é bastante variável tal como ficou bem evidenciado nas secções anteriores deste Capítulo 5, sendo os principais riscos resultantes da (1) contaminação difusa associada à agricultura; (2) drenagem de efluentes humanos; (3) actividade de pastoreio livre de bovinos e caprinos ao longo das ribeiras e junto à costa; e, (4) intrusão salina, provocada pela sobreexploração dos recursos subterrâneos junto à costa.

O grau de vulnerabilidade à contaminação também varia de unidade hidrogeológica para unidade, sendo maior na Unidade Recente pois trata-se de uma unidade superficial e muito permeável, do que nas Unidades Intermédias e de Base, que se encontram mais protegidas e são menos permeáveis.

Nos últimos anos em Cabo Verde, as entidades ligadas à produção, abastecimento e protecção dos recursos hídricos e a sociedade civil no geral, têm vindo a demonstrar crescente preocupação com a degradação dos recursos hídricos subterrâneos. De realçar que é cada vez mais clara a consciência dos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos das limitações de ordem técnico-científica e económica com o objectivo de controlar os níveis de contaminação existente, sobretudo em zonas de grande pressão populacional. Assim, tem-se verificado as preocupações que têm vindo a ser apresentadas pelas Câmaras Municipais para o desenvolvimento de técnicas de estudo de vulnerabilidade à poluição de aquíferos, como uma ferramenta para a sua protecção. Por outro lado, estas medidas visam a compatibilização das actividades antrópicas e a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízo da qualidade das águas subterrâneas.

5.4.1 Contaminação agrícola

A contaminação difusa produzida pela agricultura resulta da utilização de fertilizantes e pesticidas nos campos agrícolas para aumento da produtividade e combate das pragas. Os fertilizantes mais utilizados são os de tipo amoniacal - sulfato de amónio e o cloreto de amónio; e os de tipo nítrico - nitrato de sódio, nitrato de cálcio e nitrato de potássio. Da sua utilização resulta muitas vezes a acumulação nas águas subterrâneas de elevadas concentrações em macronutrientes, nomeadamente de diversos compostos nitrogenados (Fig. 5.29).

As análises químicas realizadas em ambas as campanhas demonstram a presença de nitratos na grande maioria dos pontos de água amostrados sendo que em algumas das zonas mais agrícolas o valor de nitratos já ultrapassa o valor máximo recomendável para água destinada a consumo humano (11,3 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$). Das amostras de água subterrânea estudadas na 1.^a campanha de campo cerca de 96% apresentava concentrações positivas de nitratos (98% na 2.^a campanha). Destas amostras cerca de 15% excedia o valor máximo admissível para consumo humano.

Embora as concentrações médias de nitratos ainda não sejam elevadas numa grande parte da ilha e os problemas de contaminação mais graves tenham sido identificados, principalmente nas zonas agrícolas de Santa Cruz e de Santa Catarina, o facto de ser uma contaminação difusa e já dispersa pela ilha (mesmo em altitudes mais elevadas), é naturalmente motivo de preocupação crescente pois pode vir a colocar em causa a qualidade da água para abastecimento às populações.

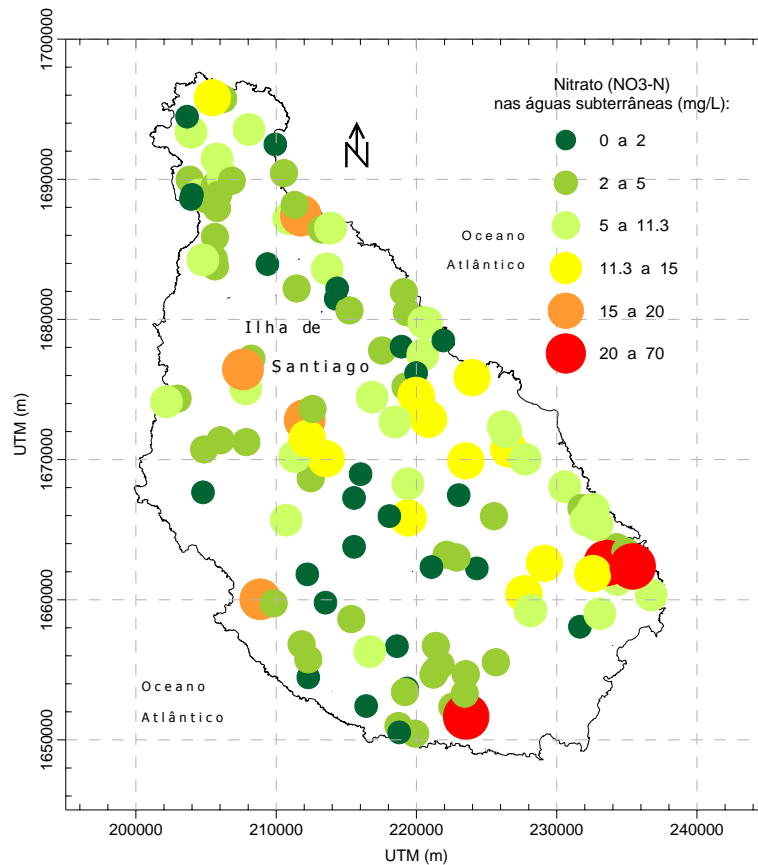


Fig. 5.29. Distribuição do conteúdo de nitratos nas águas subterrâneas, com indicação dos pontos acima do valor máximo admissível para consumo humano (VMA = 11,3 mg/l).

5.4.2 Intrusão salina

O risco de intrusão salina é efectivamente a maior preocupação ambiental em termos de gestão de recursos de água doce na ilha de Santiago. Na parte Norte da ilha (zona do Tarrafal) e ao longo de toda a costa Este da ilha (com particular gravidade nas zonas de Santa Cruz e Achada Baleia), existem diversas condicionantes hidrogeológicas e humanas que têm provocado o aumento alarmante da salinidade nos recursos de água subterrânea, nomeadamente:

- a exploração excessiva dos recursos de água subterrânea para abastecimento doméstico e irrigação dos campos agrícolas por falta de alternativas;
- a existência de inúmeros meses (ou anos) sem precipitação;
- a recarga e renovação limitada dos recursos de água subterrânea nas zonas junto à costa;
- o rebaixamento pronunciado dos níveis freáticos sob o nível médio da água do mar;
- a captação de níveis de fácies submarina com elevado teor de cloretos;

- a elevada permeabilidade dos níveis aquíferos;
- o comportamento livre dos sistemas aquíferos sem qualquer confinamento que limite o avanço da intrusão salina;
- a exploração ilegal das areias e cascalho nos leitos das ribeiras para utilização como material de construção.

Do ponto de vista geoquímico esta salinidade é confirmada pelo aumento significativo da condutividade eléctrica das águas subterrâneas, devido ao aumento principalmente do conteúdo em cloreto e sódio (Fig. 5.30). No entanto, outros iões como o magnésio, o bicarbonato e o sulfato também aumentam significativamente de concentração nestas zonas afectadas pela salinização, criando limitações à utilização da água para consumo humano e agrícola. Refira-se que já existem inúmeros campos agrícolas abandonados devido à salinização dos recursos hídricos subterrâneos que normalmente eram utilizados na irrigação. Este abandono dos campos agrícolas leva ao desemprego e deslocação das populações, e tem um impacto nefasto na economia da ilha.

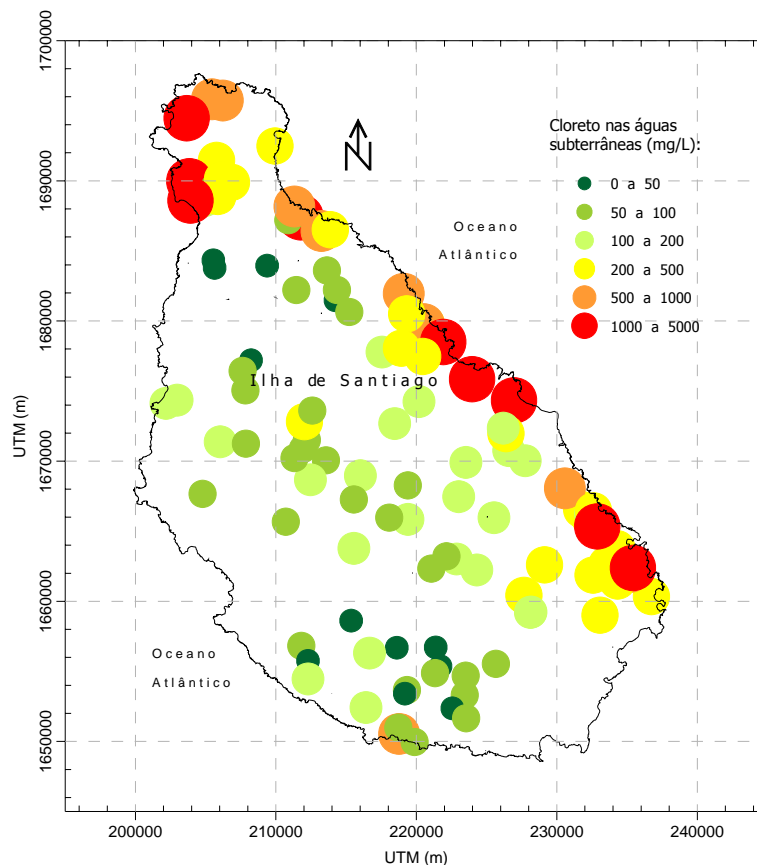


Fig. 5.30. Distribuição do conteúdo de cloretos nas águas subterrâneas com clara indicação de salinização dos recursos de água doce ao longo de toda a costa oriental da ilha.

O aumento da salinidade com o aumento do tempo de residência das águas subterrâneas e com a proximidade ao mar fica bem evidenciado na Fig. 5.31, onde estão representadas as evoluções dos iões maioritários, da condutividade eléctrica e do pH ao longo do vale de duas das principais ribeiras – a ribeira Grande do Tarrafal e ribeira Grande da Cidade Velha. Em ambos os casos é notável o aumento da concentração dos iões e da salinidade nas proximidades da linha de costa.

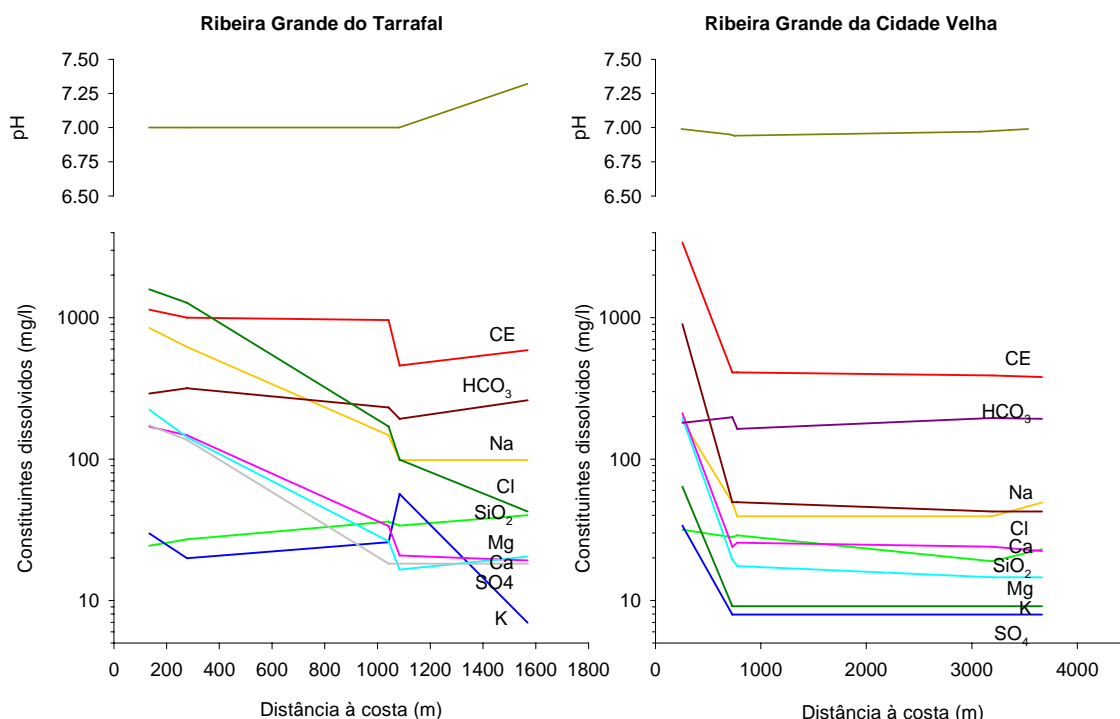


Fig. 5.31. Evolução dos principais indicadores geoquímicos de salinidade ao longo do trajecto das ribeiras.

5.5 Algumas considerações finais sobre a qualidade água subterrânea

Durante muito tempo o Homem teve a sensação de que os recursos hídricos eram inesgotáveis, pela sua aparente abundância, usando-os de forma desproporcional e muitas vezes sem qualquer controle. Essa sensação de fonte inesgotável de recursos já não pode existir hoje em dia e deixa mesmo de fazer qualquer sentido quando tomamos consciência de que mesmo quando abundante, nem toda a água pode ser aproveitada para o consumo humano devido à sua qualidade. E, por isso, a necessidade urgente de preservação deste recurso natural.

No caso da ilha de Santiago (e, de Cabo Verde em geral) a preservação das águas subterrâneas assume grande importância, não só porque representam a maior percentagem de água doce na ilha (e no arquipélago), mas também porque a descontaminação e/ou dessalinização

tem custos muito elevados para um país com recursos económicos limitados. A problemática da qualidade da água tem por isso gerado grandes discussões em todo o mundo e particularmente em Cabo Verde, estando esta temática relacionada directamente com a escassez de recursos de água doce.

Para que uma determinada água possa ser consumida pelas populações ou usada para irrigação, necessita de verificar determinados padrões de qualidade (também designados por potabilidade), ou seja, determinadas características físicas, químicas e bacteriológicas que não coloquem em risco a saúde das populações ou dos cultivos. Estes limites paramétricos de qualidade de água, assim como a metodologia para a sua determinação, são definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Deste modo será possível identificar se a água subterrânea do aquífero está imprópria ou não para o fim a que se destina.

Das amostras recolhidas na 1.^a campanha de campo realizada cerca de 44% (52 pontos de água) verificava na totalidade os valores máximos admissíveis ou recomendados pela OMS (2006) para consumo humano no que diz respeito aos principais parâmetros químicos (Fig. 5.32). Na 2.^a campanha de campo, cerca de 49% das amostras (58 pontos de água) verificavam estes valores máximos admissíveis.

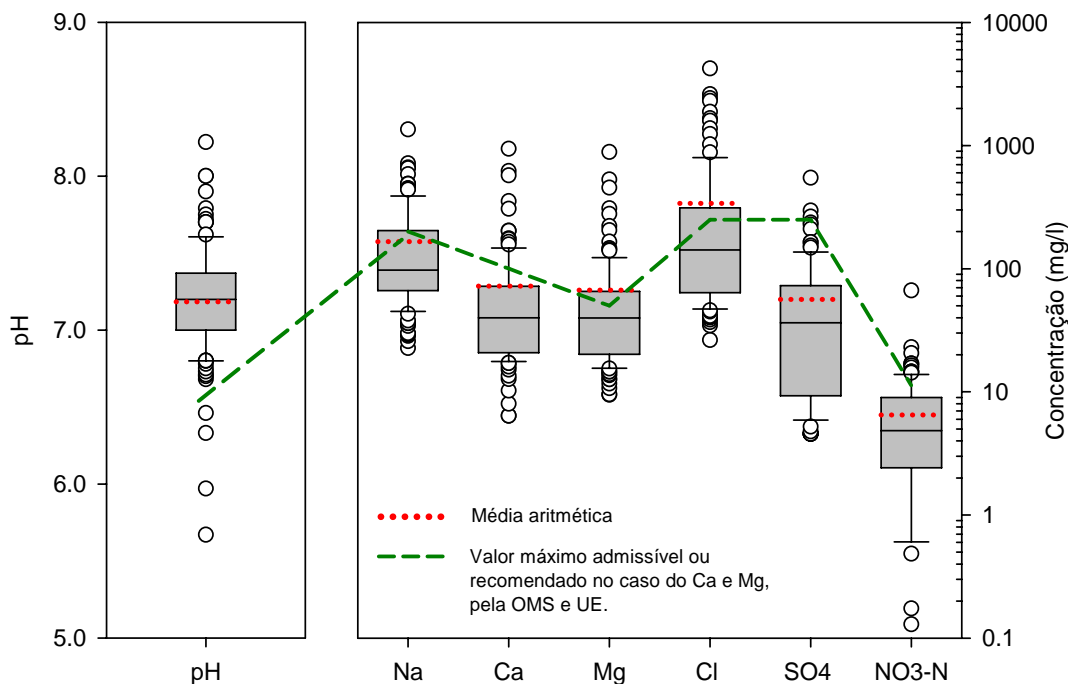


Fig. 5.32. Comparação entre as concentrações de alguns constituintes principais e os seus valores máximos admissíveis na água para consumo humano segundo a OMS (1993).

Embora em diversas amostras recolhidas, o cálcio e o magnésio apresentem valores mais elevados do que os recomendados (100 e 50 mg/l, respectivamente), e se verificarem também valores de nitratos que excedem os valores máximos admissíveis (11,3 mg/l NO₃-N), são essencialmente os iões sódio e cloreto os principais responsáveis pela não potabilidade da água (Fig. 5.32). Sendo assim, um controlo do fenómeno de intrusão salina ao longo da costa contribuiria de forma decisiva para uma melhoria da qualidade da água abastecida às populações nas zonas próximas da costa, assim como da qualidade de água de irrigação.

Em Cabo Verde, o controlo da qualidade da água para o abastecimento humano é efectuado com grandes limitações resultantes dos seguintes factores: 1) falta de pessoal técnico para a realização de monitorização; 2) fraca capacidade operativa dos laboratórios e limitações analíticas; 3) falta de legislação nacional sobre qualidade da água para os diferentes fins a que se destina; e, 4) falta de medidas específicas de protecção e monitorização.

O Governo de Cabo Verde através do Decreto-Lei n.º 41/II/84, Secção IV nos artigos 22º a 29º, deixa orientações para que as autoridades competentes proponham critérios relativos à qualidade dos recursos hídricos e mecanismos para a sua protecção.

Foram instalados pequenos laboratórios de controlo da qualidade da água, equipados para medir a temperatura, o pH, a condutividade, o cloro residual e o número de coliformes. No entanto, nenhum desses laboratórios funciona completamente, seja devido à falta de reagentes, seja devido à falta de pessoal, ou, por constrangimentos de outra ordem. Recorre-se a análises comparadas com padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS). O único tratamento realizado é a cloração. Em alguns sistemas, a cloração faz-se com alguma regularidade, noutros, faz-se de tempos a tempos e noutros ainda, não se faz. Deve-se pois concluir que uma grande parte da água consumida é de qualidade não controlada.

Análises dispersas realizadas pelo INGRH mostram a presença de coliformes fecais em muitas amostras, assim como de nitritos e nitratos, que podem ser indicadores de poluição. Durante o período de 1994/1996, das análises realizadas, várias amostras de água acusaram a presença do *vibrio cholerae*. Todos estes factos indiciam-nos, tal como é indicado no Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde (MAAP, 2004) que a qualidade da água, para consumo humano, nem sempre é garantida.

O laboratório mais credenciado é o laboratório do INIDA, que está dotado de pessoal técnico qualificado e certifica alguns dos produtos de exportação para a União Europeia. No entanto, este laboratório não é particularmente vocacionado para a análise da qualidade da água, o que implica algumas limitações analíticas. É crucial desenvolver em Cabo Verde condições laboratoriais que permitam a análise e monitorização da água para os diversos fins, sendo naturalmente o mais importante o que respeita ao consumo humano.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na ilha de Santiago, a água subterrânea assume um papel de grande importância, pois grande parte do abastecimento às populações e para a agricultura é assegurado a partir de captações tais como furos, poços e nascentes. No entanto, a exploração e distribuição dos recursos subterrâneos têm sido feitas, algumas vezes, sem atender à complexidade dos sistemas aquíferos, aos seus padrões da qualidade e à respectiva vulnerabilidade.

Este capítulo apresenta de forma resumida os conhecimentos adquiridos ao longo deste estudo, proporcionando assim a aquisição de novos dados no domínio da hidrogeologia, recarga aquífera e hidrogeoquímica, que se espera possam contribuir para um melhor conhecimento da qualidade da água, em particular, e da hidrogeologia da ilha, no geral. As conclusões que ora se apresentam, não esgotarão certamente o objecto de estudo, uma vez que nem todas as metodologias e técnicas aplicadas foram conclusivas, nem possibilitaram explicar, por si só, todos os complexos processos hidrológicos, hidroquímicos e hidrogeológicos em ambiente vulcânico.

De forma a sistematizar melhor as conclusões, estas serão apresentadas sequencialmente de acordo com a estrutura com que foi elaborada esta dissertação.

- **Geologia**

A geologia da ilha de Santiago é caracterizada pela ocorrência dos maciços do Pico da Antónia e da Serra Malagueta. Estes dois maciços, profundamente modelados pela erosão e constituídos pelas Formações do Pico da Antónia, ocupam cerca de 70% da área estudada. Entre os dois principais maciços está localizada uma grande planície, da Assomada, onde se localizam as formações com a mesma designação. É a partir destes dois grandes maciços que nascem a maioria das ribeiras direccionadas para o mar, sendo estas formadas nos seus leitos por formações recentes e antigas. As vertentes Norte e Sul vão decaindo suavemente em direcção ao mar.

A ilha é caracterizada pela variação litológica, quer primária, quer secundária, originando-se meios hidrogeológicos heterogéneos e anisotrópos. Ao nível dos grandes maciços vulcânicos devemos 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. A inclinação dos diques varia entre os 45-90° e, nas zonas de contactos, estão associados às nascentes.

- **Hidrogeologia**

A ilha de Santiago é caracterizada por três unidades hidrogeológicas principais, tais como, a Unidade de Base, Unidade Intermédia e Unidade Recente, com características hidrogeológicas diferenciadas. A Unidade Recente é constituída pela Formação do Monte das Vacas (MV) e por uma formação constituída essencialmente, por aluviões (a). Esta formação é muito permeável, não permitindo a retenção das águas, que se infiltram, em direcção ao aquífero principal. Localmente constituem importantes zonas de recarga das unidades aquíferas subjacentes. A Unidade Intermédia é constituída pela formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA) e pela Formação da Assomada (A). Esta formação constitui o principal nível aquífero, apesar de ter valores de permeabilidades muito variáveis devido à sua grande heterogeneidade litológica. A Unidade de Base é constituída principalmente pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), a Formação dos Flamengos ($\rho\lambda$) e a Formação dos Órgãos (CB). Esta unidade é caracterizada por um grau elevado de compacidade, forte alteração dos afloramentos e consequentemente baixa permeabilidade relativamente às formações geológicas mais recentes. Debaixo desta zona encontra-se a rocha 'mãe', muito compacta e praticamente improdutiva.

A ilha de Santiago apresenta do ponto de vista hidrogeológico um grande reservatório central de água subterrânea constituído essencialmente pelas formações da unidade intermédia, nomeadamente pela formação da Assomada e do Pico da Antónia. Este reservatório central tem uma forma lenticular, com uma maior espessura na parte central e estreitando em direcção à costa. Recebe infiltração directa ou diferida da precipitação da água da chuva ou da condensação dos nevoeiros e é drenado por inúmeras nascentes e/ou ribeiras que sulcam a ilha em direcção ao mar. Pode descarregar também directamente ao mar ao longo da costa nas zonas de gradiente hidráulico positivo. As formações da unidade de base formam normalmente a base impermeável do sistema aquífero insular. No entanto, nas zonas da ilha onde estas formações de base são atravessadas por inúmeros filões (Assomada, Sansão, Covão Grande, Achada Gregório, Engenho, Palha Carga e Ribeira de Sedeguma), estes podem actuar como zonas de descarga subterrânea preferencial do sistema aquífero sobrejacente, principalmente sob a forma de nascentes. De referir que esta rede filoneana pode ser tão intensa que pode compartimentar e confinar localmente o sistema aquífero. Pelo contrário, as formações aquíferas relacionadas com a unidade recente funcionam como áreas de infiltração preferencial para o reservatório central. Normalmente são formações muito permeáveis, principalmente a formação do Monte das Vacas, que pelas suas características geológicas (piroclastos) apresentam permeabilidades elevadas, constituindo uma das zonas de recarga privilegiada.

- **Piezometria**

Da análise da evolução temporal dos caudais das nascentes e da piezometria nos piezómetros e poços, verificou-se que é provável a existência de uma certa continuidade lateral do nível piezométrico em toda a ilha de Santiago, sendo que os poços e piezómetros junto à costa apresentam níveis piezométricos menos profundos (por vezes, sob o nível médio do mar) que nas zonas mais elevadas do interior da ilha. Verificou-se que os níveis piezométricos medidos nos furos e nos poços respondem às precipitações, observando-se que o nível recupera nos meses seguintes à época de 'boa chuva', pelo que existe recarga de água subterrânea pela precipitação. No entanto, esta recarga subterrânea divide-se entre uma recarga imediata e outra diferida, já que a resposta observada nos piezómetros pode ocorrer até três ou mesmo, seis meses, depois das precipitações; os caudais das nascentes também verificam variações significativas com as precipitações (em geral, $> 200 \text{ m}^3/\text{dia}$), o que considerando que estas constituem pontos de descarga de água subterrânea, confirma também a influência da infiltração da água da chuva na recarga subterrânea.

Sob condições naturais, verifica-se que o fluxo natural subterrâneo na ilha de Santiago segue a topografia, deslocando-se das zonas mais altas para as mais baixas, e descarregando nas principais linhas de água superficiais (ribeiras) e no mar. Este gradiente natural é mais elevado nas zonas mais elevadas da ilha (0,05) do que nas zonas mais próximas da costa (0,008). Estes gradientes são compatíveis com as idades aparentes determinadas por outros autores para diversos pontos de captação de água subterrânea na ilha.

No entanto, da análise dos mapas piezométricos verifica-se também que a exploração dos recursos de água na ilha de Santiago, tem provocado uma alteração do padrão de fluxo natural subterrâneo. Actualmente, existem determinadas zonas no Norte, na costa Oriental e Sul da ilha - Tarrafal (Ribeira Grande), São Miguel (Ribeira Principal), Santa Cruz (Ribeira Seca), Achada da Baleia e Praia, onde actualmente o fluxo natural se encontra invertido, dando-se de mar a terra, potenciando a intrusão salina e constituindo um risco para a qualidade da água subterrânea.

- **Recarga água subterrânea**

As principais áreas de recarga subterrânea da ilha estão localizadas na parte central e mais alta da ilha, onde: (1) ocorrem as principais precipitações e nevoeiros orográficos; (2) a evapotranspiração é menor; (3) predominam formações geológicas recentes (principalmente a formação do Monte das Vacas) e permeáveis que favorecem a infiltração directa da água da chuva. No entanto, nas zonas mais baixas da ilha e próximas da costa também ocorrer recarga subterrânea importante. Isto acontece principalmente nas partes terminais dos vales das ribeiras onde se acumulam espessuras significativas de materiais aluvionares que constituem excelentes reservatórios de água. Na altura das chuvas, quando estes vales das ribeiras concentram grande

parte da escorrência superficial da ilha, a infiltração de água superficial contribui aqui de forma significativa para a recarga subterrânea.

A recarga aquífera ocorre principalmente por infiltração directa da água da chuva e por precipitação oculta. Foram calculados pelo método físico clássico de Penman-Grindley e por um método químico, que se baseia na realização de um balanço de cloretos na zona saturada. A recarga subterrânea na ilha de Santiago varia significativamente com a precipitação, altitude e/ou distância à costa e tipo de formação geológica. A utilização de diferentes métodos (físicos e químicos) para aproximar o valor da recarga de água subterrânea permitiu superar algumas dificuldades na aplicação destes métodos a zonas de climas áridos, nomeadamente no que diz respeito à estimativa da evapotranspiração.

Aplicando o método de balanço de cloretos obtém-se um volume total de recursos subterrâneos renováveis em média de 39 hm³/ano. No entanto, se o cálculo da recarga for feito com base no método de Penman-Grindley, obtêm-se valores de recarga anual inferiores e que podem variar entre 22 e 30 hm³/ano, dependendo do método de estimativa da evapotranspiração (Penman ou tina evaporimétrica, respectivamente). A utilização do método de Thornwaite na estimativa da evapotranspiração potencial não se mostrou adequada a este tipo de climas áridos.

A composição isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$) das águas subterrâneas e a sua representação versus a altitude permitiu identificar um ligeiro efeito da altitude no tipo de recarga subterrânea, permitindo concluir que a maiores altitudes a recarga subterrânea é formada essencialmente por água da chuva, enquanto a altitudes mais baixas (<200 m) esta recarga é constituída por uma mistura de água de precipitação com água de escorrência superficial ligeiramente evaporada.

- **Hidrogeoquímica água subterrânea**

O estudo hidrogeoquímico da ilha incluiu na sua fase inicial uma análise exploratória dos principais dados físico-químicos das amostras de águas subterrâneas recolhidas nas duas campanhas de campo realizadas. Esta análise exploratória dos dados teve como objectivos a familiarização com os dados, a avaliação da sua qualidade e em particular, reconhecer alguns padrões de comportamento da distribuição de dados, de forma a poder evidenciar algumas tendências, que contribuam para melhorar o conhecimento do quimismo das águas subterrâneas. Por isso, numa primeira fase de tratamento dos dados utilizaram-se algumas técnicas de estatística univariada, calculando-se valores máximos e mínimos, assim como algumas medidas de tendência central e de dispersão, representativas das três unidades hidrogeológicas.

Os resultados dos iões principais das análises químicas das amostras realizadas, permitiram identificar três principais famílias geoquímicas das águas subterrâneas da ilha, de acordo com as unidades hidrogeológicas: a Unidade de Base com uma fácies hidroquímica do tipo cloretada-bicarbonatada sódica (Cl-HCO₃-Na); Unidade Intermédia com fácies bicarbonatada-

cloretada sódica ($\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$); e, Unidade Recente cuja fácies predominante é a cloretada sódica (Cl-Na).

Na ausência de episódios de contaminação, as águas subterrâneas têm uma composição do tipo $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$ nas zonas mais altas da ilha, onde afloram as formações da Unidade Aquífera de Base e Intermédia e onde ocorre grande parte da precipitação. Esta composição, quando em amostras de reduzida condutividade, revela a influência do aerossol marinho na composição da água de infiltração recente. A presença de ião bicarbonato poderá estar relacionada com a reacção do CO_2 do solo durante o processo de infiltração nas zonas de recarga e com os primeiros estádios de dissolução de minerais carbonatados e hidrólise de minerais silicatados. Os valores de pH destas águas são ligeiramente ácidos ($<7,0$) e as condutividades eléctricas relativamente baixas ($<1000 \mu\text{S/cm}$), em parte justificados por as águas terem tempos de residência ainda relativamente curtos.

Ao longo do seu percurso desde as zonas mais altas da ilha (zona de recarga) em direcção à costa (zona de descarga), aumenta o tempo de contacto água-rocha e a água subterrânea tem oportunidade de reagir com os minerais silicatados de forma mais prolongada. Aumenta por isso a concentração de bicarbonato e o pH. Aumentam também as concentrações da maioria dos restantes iões, mas nem por isso se alteram as fácies hidroquímicas.

As águas subterrâneas que circulam na Unidade de Base apresentam uma fácies hidroquímica do tipo cloretada-bicarbonatada sódica ($\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$), com valores de condutividade eléctrica que variam entre os 440 e 2750 $\mu\text{S/cm}$, que se podem considerar ainda relativamente baixos a moderados. O sódio é o catião dominante atingindo valores médios de $\pm 160 \text{ mg/l}$, enquanto os aniões dominantes de cloro e bicarbonato atinge valores médios de 193 e 334 mg/l , respectivamente. O pH oscila entre valores ácidos (6,0) e ligeiramente alcalinos (7,6). Esta unidade hidrogeológica existe na parte central e Sul da ilha, a cotas topográficas correspondentes a altitudes variáveis, com condições de recarga diversas mas permeabilidades limitadas e essencialmente secundárias (por fracturação), o que limita a capacidade como sistema aquífero mas reduz a sua vulnerabilidade à contaminação salina.

Pode-se concluir que as fácies hidroquímicas são determinadas pela combinação de factores tão diversos como: (1) a composição química da água da chuva; (2) as interacções água/gases/solo durante o processo de infiltração; (3) as interacções água/material aquífero durante o processo de circulação profunda. Outros factores como a altitude, a distância à costa e o tempo de residência no aquífero são também determinantes. O maior ou menor grau de dissolução e hidrólise dos minerais constituintes das rochas, a precipitação de novos minerais e o impacto da actividade agrícola e intrusão salina são os principais responsáveis pelo grau e tipo de mineralização presentes na água subterrânea, podendo produzir alterações significativas da qualidade.

- **Qualidade e vulnerabilidade água subterrânea**

A qualidade da água subterrânea na ilha de Santiago é bastante variável, sendo os principais riscos resultantes da (1) contaminação difusa associada à agricultura; (2) drenagem de efluentes humanos; (3) actividade de pastoreio livre de bovinos e caprinos ao longo das ribeiras e junto à costa; e, (4) intrusão salina, provocada pela sobreexploração dos recursos subterrâneos junto à costa. O grau de vulnerabilidade à contaminação também varia de unidade hidrogeológica para unidade, sendo maior na Unidade Recente pois trata-se de uma unidade superficial e muito permeável, do que nas Unidades Intermédias e de Base, que se encontram mais protegidas e são menos permeáveis.

Cerca de 45% das amostras de água subterrânea analisadas não verificam os valores máximos admissíveis ou recomendados para consumo humano pela OMS (2006). E, embora em diversas amostras recolhidas, o cálcio e o magnésio apresentem valores mais elevados do que os recomendados (100 e 50 mg/l, respectivamente), e se verifiquem também valores de nitratos que excedem os valores máximos admissíveis (11,3 mg/l NO₃-N), são essencialmente os iões sódio e cloreto os principais responsáveis pela não potabilidade da água

Nos últimos anos, devido à diminuição da precipitação e à consequente diminuição da recarga subterrânea, ao aumento das necessidades de bombagem da água subterrânea para irrigação, tem-se assistido a um rebaixamento do nível freático nas principais unidades aquíferas e ao avanço da intrusão marinha. A salinização tem produzido valores elevados de cloretos (> 2000 mg/l), sódio (> 1300 mg/l) e também de ião bicarbonato, assim como um aumento significativo do pH (pH>8,0). Entretanto, já foram detectadas zonas de intrusão salina, com teores de cloreto e sódio elevados nos pontos de água situados em zonas costeiras, como por exemplo na Ribeira Seca, em Santa Cruz, na Ribeira da Baía, em Achada Baleia, na Ribeira do Fontão (Tarrafal) entre outros.

A representação das composições isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ versus a condutividade eléctrica mostra um pequeno enriquecimento isotópico com o aumento de salinidade, o que implica que apesar de não ser a causa fundamental da salinização, a evaporação também pode estar a contribuir para um aumento de salinidade nos níveis aquíferos mais superficiais junto à costa.

As águas com menor mineralização geralmente são localizadas nas Unidades Intermédia e de Base, em zonas mais altas e do interior da ilha. As formações mais recentes e com pouco tempo de residência, são caracterizadas por uma mineralização elevada. Estas características poderão ser devidas a baixa solubilidade dos materiais que compõem as formações (lavas) mais recentes e à proximidade da costa.

A diminuição da qualidade da água em determinados locais está também associada à agricultura e ao uso de fertilizantes, verificando-se a presença de nitratos na maioria das amostras de água subterrânea estudadas.

- **Recomendações**

Do conhecimento reunido durante a realização das campanhas de campo, trabalhos de laboratório e de gabinete, e em função dos resultados obtidos, identificaram-se algumas lacunas de conhecimento ou alguns aspectos que foram deixados em aberto para que, futuros estudos realizados na ilha de Santiago, possam vir a estudar as temáticas em questão. Assim, expõem-se seguidamente algumas recomendações para futuros trabalhos que venham a ser desenvolvidos na ilha de Santiago.

Entende-se ser importante a elaboração de um mapa hidrogeológico da ilha de Santiago para que sejam inseridos os elementos hidrogeológicos, estruturais, tectónicos, com vista a uma melhor compreensão global do funcionamento hidráulico da ilha e de certos fenómenos ligados à infiltração (recarga) das águas pluviais.

Devido à degradação sistemática de piezómetros de observação, torna-se necessário a redefinição e automatização da rede de monitorização, para permitir uma monitorização mais abrangente e poder proporcionar um controlo piezométrico e de qualidade mais completo. É importante também evitar a degradação dos postos udométricos e das estações meteorológicas, assegurando o seu normal funcionamento.

O actual nível de consumo de água subterrânea, quer para o consumo humano, industrial e agro-pecuário, torna imperiosa a necessidade de exploração de outros recursos hídricos. Seria importante dar continuidade às investigações já iniciadas sobre a captação da água dos nevoeiros (precipitação oculta).

Com a redução da precipitação que a ilha vem sentindo nos últimos anos, torna-se pertinente o controlo de utilização da água para irrigação na agricultura, com a introdução de metodologias mais adequadas, tais como a rega por sistema de aspersão e, onde seja viável, por gota-a-gota, sobretudo nas zonas onde o potencial hídrico é bastante reduzido, diminuindo assim a pressão sobre os aquíferos.

Do ponto de vista da melhoria do estudo hidroquímico seria importante realizar a monitorização da qualidade química e isotópica da água da chuva, a principal origem da água de recarga subterrânea. Assim como realizar uma campanha de datação de diversas amostras de água subterrânea de uma mesma unidade hidrogeológica e ao longo de uma mesma linha de fluxo.

Ao INGRH e outros organismos responsáveis pelo sector da água, que procedam à recolha dos subsídios apresentados por trabalhos de investigação científica realizados, para um uso adequado na gestão dos recursos hídricos de Cabo Verde.

7

BIBLIOGRAFIA

- Agência Japonesa de Cooperação Internacional & INGRH (1999) – Estudo sobre o desenvolvimento da água subterrânea na ilha de Santiago na República de Cabo Verde – Relatório Final, Vol. 1, Sumário, 119 p. Praia.
- Agência de Cooperação Internacional do Japão (2003) – Relatório do estudo de desenho básico para o projecto de desenvolvimento de águas subterrâneas e abastecimento de água no sector rural na ilha de Santiago na República de Cabo Verde. Praia.
- Akiti, T. (1985) – Environmental isotope study of the groundwaters of the island of Santiago (Cape Verde). Report Project CVI/82/004 PNUD. International Atomic Energy Agency. Division of Research and Laboratories. Section of Isotope Hydrology. Vienna. 26 pp.
- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) - Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome
- Allison, G.B. & Hughes M.W. (1978) - The use of environmental tritium and chloride to estimate total local recharge to an unconfined aquifer. Australian Journal of Soil Sciences 16:181-195.
- Amaral, I. (1964) – Santiago de Cabo Verde – A Terra e os Homens. Junta de Investigações do Ultramar, 444 p. Lisboa.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (2005) - Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd Edition. A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands. ISBN 04 1536 428 0, 634 pp.
- Azevedo, J. M. M. e Portugal Ferreira, M.R. (1995) – As grandes Formações vulcânicas da ilha das Flores, Açores. – Anais do IV Congresso Nacional de Geologia. Mem. & Notícias M.L.M.G, Univ. Porto, 2p. Porto.
- Azevedo, J. M. M. (1998) – Geologia e hidrogeologia da Ilha das Flores (Açores – Portugal). Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra. Universidade de Coimbra. 1^o e 2^o Volumes, 403 p. Coimbra.

- Azevedo, J. M. M. (2002) – Conceptualizações hidrogeológicas em pequenos domínios insulares: o exemplo da ilha das Flores, Açores. Proceedings 6º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH) – Porto.
- Azevedo, E. B. (2002) – Condicionantes Dinâmicas do Clima do Arquipélago dos Açores – Açoreana, Boletim da Sociedade Afonso Chaves. Vol. IX – Fasc. III.
- Azevedo, E. B.; Rodrigues, A.C.; Diogo, P. A. & Rodrigues, M. C. (2002) – Infiltração e Escoamento em Pequenas Ilhas Vulcânicas. Proceedings 6º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH) – Porto.
- Barmen, G., Josefsson, G., Magnusson, M. & Wernersson, H. (1984) – A hydrogeological investigation on Santiago, Cape Verde Islands. A project within the bilateral programme of SAREC between Cape Verde and Sweden. Report. Lund Institute of Technology in Cooperation with the National Technical Institute of Cape Verde. Lund. 43 pp.
- Barmen, G.; Carvalho, V.; Querido, A. (1990) – Groundwater-related geological and isotopic investigations on the island of Fogo – an overview. Report No. LUTVDG/TVTIG-90/3027. Praia and Lund. 72 pp.
- Bebiano, J.B. (1932) – A geologia do arquipélago de Cabo Verde. Comun. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 18, 167-187.
- Bereslawski, A. (1992) – Síntese hidrológica de las islas de Cabo Verde. JRH-PNUD. Projet CVI-87/001. Praia.
- Berner, E. K. & Berner, R. A. (1996) - The global environment: water, air and geochemical cycles. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 376 p.
- Bistry, Th. (1996) – Natural and anthropogenic chemical input into the groundwater in the volcanic island of La Palma (Canary Islands). Tese de Doutoramento. Kiel University, Kiel.
- Bosscher, A. (1981) – Groundwater availability in selected areas of Cabo Verde. ITC. Praia.
- BURGEAP (1974) – La Mise en Valeur des Eaux Souterraines dans l' Archipel du Cap Vert, Rapport de Fin de Mission. Praia.
- BURGEAP (1983) – Étude générale du massif du Pico da Antónia (Santiago). Praia.
- BURGEAP-CGG (1983) – Reconnaissance par prospection électrique. Île de Santiago. Cap Vert. Praia.
- BURGEAP (1984) – Étude générale du massif de Serra Malagueta (Santiago). Praia.
- BURGEAP (1985) – “Factibilité des captages d` eau dans la vallée de S. João Baptista, Praia”. Praia.

- BURGEAP (1986) – Dossiers de factibilité des galeries de Muita Água et Mosquito pour l'AEP de Praia. Praia.
- BURGEAP (1991) – Ressources en eau captables à partir de la Ribeira de Santa Clara. Praia.
- Cabrera Santana, M. C. (1995) – Caracterización y funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria). Tesis Doctoral; Universidad de Salamanca. Depto. Geología: 1-363.
- Carreira, P.M., Pina, A. F. L., Gomes, A. M., Marques, J. M., Gonçalves, R., Almeida, E., Valério, P., Monteiro Santos, F. (2007) – Utilização dos teores em trítio na caracterização dos sistemas aquíferos da ilha de Santiago – Cabo Verde. Recursos Hídricos; Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Volume 28 # 03. Pag 66-74.
- Carreira, P. M., Pina, A. F. L., Gomes, A.M., Marques, J. M., Almeida, E., Monteiro Santos, F. (2007) – Assessment of groundwater salinization mechanisms in Santiago Island (Cabo Verde): an environmental isotopic approach. Vienna, Austria.
- Carreira, P. M., Lobo de Pina, A. F., Gomes, A. M., Marques, J. M., Almeida, E., Monteiro Santos, F. (2007) – Contribution of environmental isotopes and chemistry to the study Santiago island hydrogeology – Cabo Verde. 7th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, Stellenbosch, South Africa.
- Carreira, P. M., Marques, J. M., Lobo de Pina, A. F., Mota Gomes, A., Nunes, D., Monteiro Santos, F. (2007) – A multidisciplinary approach to groundwater systems characterisation at Santiago island (CABO VERDE). Proceedings do 35th IAH Congress Groundwater & Ecosystems, Lisbon (Portugal), 17-21 Setembro. CD-Rom.
- Carreira, P.M., Marques, J.M., Pina, A., Mota Gomes, A., Nunes, D. & Monteiro Santos, F. (2008) - Characterization of groundwater resources degradation at Santiago Island (CaboVerde) ascribed to isotopic and geochemistry signatures. Water Pollution IX (Prats, D., Brebbia, C.A. & Villacampa Esteve, Y. Eds). WIT Press, Southampton, U.K. (ISBN: 978-1-84564-115-3): 139 – 148.
- Carreira, P.M., Marques, J.M., Nunes, D., Pina, A., Gomes Mota, A. & Monteiro Santos, F. (2009) - Aplicação de isótopos ambientais na identificação de salinização dos aquíferos costeiros da ilha de Santiago – Cabo Verde. 7º Seminário sobre Águas Subterrâneas, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 5-6 de Março 2009.
- Celestino Silva, L., Le Bast, M. J. & Robertson, A. H. F. (1981) – An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands. Nature, 294, pp. 644-45.

- Cereceda, P. & Schemenauer (1996) - La niebla: recurso para el desarrollo sustentable de zonas con déficit hidrológico. *In* M. V. Marzol, P. Dorta, P. Valladares (Ed.). Clima y Agua, la gestión de un recurso climático. La Laguna, Canarias, España.
- Clark, I. & Fritz, P. (1997) - Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton, 328 pp.
- CNAG/INGRH (1992) - Schéma Directeur pour la mise en valeur des ressources en eau (1993 - 2005) -Programme des Nations Unies pour le Développement ONU/Departement pour le Developpement economique et social / C.N.A.G. - Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos.
- CNAG – INGRH (1993) – Schéma directeur pour la mise en valeur des ressources en eau (1993-2005), (2. ° vol.). Praia, Cabo Verde: 12.01-12.39 p.
- CNAG – INGRH (2000) – Visão Nacional sobre a Água, a Vida e o Ambiente No horizonte 2025. Praia.
- Coleman, M.L., Shepherd, T.J., Durham, J.J., Rouse, J.E., Moore, G.R. (1982) - Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis. *Analytical Chemistry*, 54, 993-995.
- Condesso de Melo, M.T. (2002) – Modelo Matemático de Fluxo e Transporte de Massa do Sistema Multiaquífero Cretácico da Região de Aveiro (Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Condesso de Melo, M.T.; Silva, J.; Lobo de Pina, A.; Mota Gomes, A., Almeida, F.; Moura, R.; Marques da Silva, M.A. (2008) – Use of geochemical tools to study groundwater salinization in volcanic islands: a case study in the Porto Santo (Portugal) and Santiago (Cape Verde) islands. *Proceedings of 20th Salt Water Intrusion Meeting, Florida, June 23-27.*
- Costa, M. A. (1962) – Acerca do reconhecimento hidrogeológico do Arquipélago de Cabo Verde e abastecimento de água às populações. Praia, Cabo Verde.
- Costa, F. L. (1995) – Erosion, risques naturels et conservation du sol au Cap Vert. Colloque Crues Versants et Lits Fluviaux, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Laboratoire de Géographie Physique, C.N.R.S.-U.R.A. 141, Université de Paris I, Paris.
- Cruz Fuentes, T. (2008) – Modelización hidrogeológica del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)". Tese de Doutoramento. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. In press.
- Cruz, J.V. (1997) – Estudo Hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa. Lisboa.

- Cruz, J.V. (2003) – Groundwater and volcanoes: examples from the Azores archipelago. *Environmental Geology*, Vol. 44, No. 3, pp. 343-355.
- Cunha, F.R. (1960) – A variabilidade das precipitações na ilha de Santiago (Cabo Verde). *Garcia de Orta*, 8 (4), p 887-889. Lisboa.
- Cunha, F.R. (1961) – O Balanço Hidrológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Garcia de Orta*, 9 (2), p 359-379. Lisboa.
- Cunha, F.R. (1962) – Estabelecimentos meteorológicos de Cabo Verde. *Garcia de Orta*, 10 (1), p 191-205. Lisboa.
- Cunha, F.R. (1964) – O problema da captação da água do nevoeiro em Cabo Verde. *Estudos Agronómicos (Junta de Investigações do Ultramar)*, 5 (4), p 121-172. Lisboa.
- Custodio, E. (1974) – Contribuciones al conocimiento geohidroquímico de la isla de Lanzarote (Islas Canarias, España). *Simp. Int. Hidr. Terr. Volc. Lanzarote*, Vol. 2, pp. 463-509.
- Custodio, E. (1975) – Hidrogeología de formaciones volcánicas. *Proceedings 3rd UNESCO – ESA – AIH Symposium on Groundwater*, Palermo, p 23-69.
- Custodio, E. (1978) – Hidrologia de las rocas volcanicas. *Proceedings III Congresso Internacional de Águas Subterrâneas. 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. & Llamas, M.R. (2001) - Hidrologia subterrânea. Tomo I e II, Ediciones Omega, S.A, Barcelona. 2350p. 2001.
- 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.
- Custodio, E. (1990) – Saline groundwater in the Canary Islands (Spain) resulting from aridity. *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought. NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences*, 325. Kluwer, Dordrecht: 593-618.
- Custodio, E. (1991) – La interpretación hidrogeoquímica como herramienta de estudio y valoración de sistemas acuíferos: aspectos metodológicos generales. *In Hidrología, estado actual y perspectiva. Curso Internacional de Hidrología Subterrânea. Barcelona*: 121-162.
- Custodio, E. (1997) – Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. *In La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica. Asoc. Intern. Hidrogeólogos – Grupo Español*: 83-109.

- Custodio, E. & Herrera, C. (2000) – Utilización de la relación Cl/Br como trazador hidrgeoquímico en hidrología subterránea. *In* Bol. Geol. Min. De España. Madrid. 111: 49-67.
- Custodio, E. (2004) - Hydrogeology of volcanic rocks. Em: Kovalevsky, V. S., Kruseman, G. P. & Rushton, K. R. (ed.) – An international guide for hydrogeological investigations. IHP-IV, Series on Groundwater n.º 3. UNESCO. Paris.
- Dahalin, P., Ferreira, A. & Persson, P. (1986) – Resistivity measurements in arid areas and volcanic formations – A field study on Santiago, Cape Verde Islands. Praia, Cabo Verde e Lund, Suécia.
- De Paepe, P., Klerkx, J., Hertogen, J. & Plinke, P. (1974) – Oceanic tholeiites on Cape Verde islands: Petrochemical and geochemical evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 22, pp. 347-354. Amsterdam.
- Dincer, T. (1980) – Use of environmental isotopes in arid-zone hydrology. *In* *Arid-Zone Hydrology: Investigations with Isotope Techniques* (Proc. Panel Vienna, 1978), IAEA, Vienna, 23-30.
- Dittrich, I. (1982) – Délimitation des composants du bilan hydrique pour Santiago: Un modèle semi-déterministique. Praia.
- Duarte, M. C. (1998) – A Vegetação de Santiago (Cabo Verde). Apontamento histórico, composição florística e interpretação ecológica das comunidades. Tese de Doutoramento em Engenharia Agronómica, Inst. Sup. Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 429 pp.
- ELECTRA, S. A. (2006) – Relatório e Contas. Mindelo - S. Vicente, Cabo Verde.
- Epstein, S. & Mayeda, T.K. (1953) - Variations of the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4, 213-223.
- Eriksson, E. & Khunakasem, V. (1969) - Chloride concentration in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride in the Israel Coastal Plain. *Journal of Hydrology*, 7, 178-197.
- Eriksson, E. (1985) – Principles and Applications of Hydrochemistry. Chapman and Hall, Ltd. 183 p, London.
- Falkland, A. & Custodio, E. (1991) – Hydrology and water resources of small islands: a practical guide. *Studies and Reports on Hydrology*, 49, UNESCO, Paris: 1-630.
- FAO (2006) - Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego Y Drenaje – 56. 322 p.
- Faria, X. (1970) – Os Solos da Ilha de Santiago. Est. Ens. Doc., Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa.

- Fernandopullé, D. (1977) – Aperçu sur les ressources en eau et les possibilités d'aménagement hydrauliques Iles du Cap Vert. Projet CTP-CVI/75/001. Praia, p 41.
- Fernandopullé, D. (1979) – Recherche et mise en valeur des eau souterraines. Rapport terminal. Projet CVI-75/001. PNUD-DTCD. Praia.
- Figueira, C., Prada, S., Sequeira, M., Perestrelo, A., Silva, M.O. (2006) - Estudo da precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira. Proceedings 8.º Congresso da Água/ XII SILUBESA – 13 a 17 de Março, Figueira da Foz, Portugal.
- Fontes, J. C. G. (1999) – Comportamento Hidrológico dos Solos Agrícolas da Ilha Terceira: Avaliação e Simulação com o Modelo OPUS. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. 330 p.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2002) – Protección de la calidad del agua subterránea. World Bank. 115p. Washington.
- Gasparini, A. (1989) – Hydrochimie et geochemie isotopique de circulations souterraines en milieu volcanique sous climat semi-aride (Grande Canarie, Iles Canaries). Tese de Doutoramento. Université Paris – SUD XI, Paris.
- Gonfiantini, R. (1978) - Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, 271, 534-536.
- Grindley, J. (1967) - The estimation of soil moisture deficits. *Meteorol. Mag.*, 96, 97-108.
- Heitor, A. M. & Pina, A. P. (2003) – Águas subterrâneas em Cabo Verde, qualidade da água na ilha de Santiago. 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos PALOP, pg 819-827. Praia.
- INE (2000) – Recenseamento geral da população e habitação – CENSO 2000. Praia.
- INGRH – Cooperacion Española (1994) – Síntesis geo-hidrologica de Cabo Verde. Praia, 1-51.
- INGRH (2007) – Relatório de actividades do INGRH - 2006. Praia, Cabo Verde.
- Juvik, J. O. (1988) – Fog cloud water recovery systems for agricultural and domestic use in Cape Verde Islands. University of Hawai at HILO, USA.
- Klerkx, J. & De Paepe, P. (1976) – The main characteristics of the magmatism of the Cape Verde Islands. *Société Géologique de Belgique*, vol. 99, pp. 347-357. Liege.
- König, B. (1997) – Determination of solute fluxes and balances in the groundwater of the volcanic island of La Palma (Canary Islands). Tese de Doutoramento. Kiel University, Kiel.
- Lameli, C. H. (2001) – Caracterización Hidrogeoquímica del Macizo de Bentacuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias. Tese de Doutorado, Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, 219p.

- Langmuir, D. (1997) – Aqueous environmental geochemistry. Prentice Hall, New Jersey, 600 p.
- Linacre, E. (1992) – Climate data and resources. Routledge, New York, 366 p.
- LNEC (2001) - Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas dos Açores. Rel. 239/01 GIAS. Lisboa. 640 p.
- Lobo de Pina, A. F., Mota Gomes, A., Condesso de Melo, M.T. & Marques da Silva, M. A. (2004) – The impact of salt water intrusion on groundwater quality and on the social and economical development of the Santiago island (Cape Verde). Proceedings do 18th Salt Water Intrusion Meeting. Cartagena (Espanha), 31 Maio-3 Junho.
- Lobo de Pina, A. F., Mota Gomes, A., Condesso de Melo, M. T. & M.A. Marques da Silva (2005) – Caracterização hidrogeoquímica das principais unidades aquíferas da ilha de Santiago, Cabo Verde. XIV Semana de Geoquímica & VIII Congresso de Geoquímica. Aveiro, 11-16 Julho.
- Lobo de Pina, A. F., Mota Gomes, A. M., Condesso de Melo, M. T. & Marques da Silva, M. A. (2006) – Estudo hidrogeoquímico da ilha de Santiago (Cabo Verde). Proceedings do 8.º Congresso da Água, Figueira da Foz (Portugal), 18-22 Março. CD-Rom.
- MAAP (2004) – Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde. Praia, 227 p.
- Mannaerts, C. M. & Gabriels, D. (2000) - A probabilistic approach for predicting rainfall soil erosion losses in semiarid áreas. *Catena*, 40, 403–420.
- Marques, M. M. (1983) – Ensaio de Compartimentação da Paisagem nas Achadas Meridionais da Ilha de Santiago. CEP do IICT em colaboração com o ICE, 21 p, Lisboa.
- Marques, M.M. (1985a) – Ensaio de Compartimentação da Paisagem na Bacia Hidrográfica da Ribeira dos Picos (Ilha de Santiago). CEP do IICT em colaboração com o ICE, 35 p, Lisboa.
- Marques, M. M. (1985b) – Ensaio de Compartimentação na Região de Santa Catarina (Ilha de Santiago – República de Cabo Verde). CEP do IICT em colaboração com o ICE, 20 p, Lisboa.
- Marques, M. M. (1987) – Ensaio de cartas de declives médio para a ilha de Santiago (República de Cabo Verde). Garcia de Orta, Série de Estudos Agrónomicos, Lisboa.
- Marques, M. M. (1990) – Caracterização das grandes unidades geomorfológicas da ilha de Santiago (República de Cabo Verde). Contribuição para o estudo da compartimentação da paisagem. Centro de Estudos de Pedologia (IICT), Lisboa.
- Martins, S. (2003) – Petrologia e geoquímica das lavas da ilha de Santiago (Cabo Verde). Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa, 233 p.

- Matos Alves, C. A., Macedo, J. R., Celestino Silva, L., Serralheiro, A. & Peixoto Faria, A. F. (1979) – Estudo geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). Garcia de Orta, 3 (1-2), p 47-74, Lisboa.
- Mazor, E. (1991) – Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrogeology. New York: Halstead Press.
- Meneses, J. G. A. (1977) – O Arquipélago dos Açores. Bases para o seu estudo hidrológico. Comunicação apresentada no V Simpósio Internacional de Geologia Aplicada e do Meio Ambiente. 55 p.
- Meneses, J. G. A. (1993) – Hidrologia e Hidrogeologia da Ilha Terceira – Grandes Condicionantes. Comunicação apresentada no Seminário Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores. Câmara Municipal de Angra do Heroísmo. 1-56.
- Monteiro Santos, F. A., Almeida, E. P., Mota Gomes, A. & Lobo de Pina, A. F. (2006) – Hydrogeological investigation in Santiago Island (Cabo Verde) using magnetotellurics and VLF methods. Journal of African Earth Sciences, 45 (2006) 421-430.
- Mota Gomes, A. (1980) – Estudo da ilha de Santiago. Situação actual. CNAG-JRH. Praia.
- Mota Gomes, A. (1980) – A Hidrogeologia de Santiago, Vol. I, DEGAS. Praia.
- Mota Gomes, A. (2007) – Hidrogeologia e recursos hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde). Tese de Doutoramento. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro, 296 p.
- Mota Gomes, A., Lobo de Pina, A. F., Condesso de Melo, M. T. & Marques da Silva, M. A. (2004) – The importance of groundwater resources for the sustainable development of the Santiago island (Cape Verde). Proceedings 32nd International Geological Congress, Florença, Itália.
- Mota Gomes, A., Lobo de Pina, A. F., Condesso de Melo, M. T. & Marques da Silva, M. A. (2006) – Hidrogeologia da ilha de Santiago (Cabo Verde). Proceedings do 8º Congresso da Água, Figueira da Foz (Portugal), 18-22 Março. CD-Rom.
- Muñoz Sanz, J. (2005) – Caracterización hidrogeológica del acuífero de La Aldea (Gran Canaria). Tese de Doutoramento. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas.
- OMS (2006) – WHO Guidelines for drinking-water quality incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. Versão electrónica da Web. ISBN 92 4 154696 4
- Penman, H. L. (1948) - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society. A - Series, London, v.193, p.120-145.
- Penman, H. L. (1950) - The water balance of the Stour catchment area. J. Inst. Water Eng., 4, 457-469.

- Peterson, F. L. (1993) – Hydrogeology of volcanic oceanic islands. *In* Selected Papers on Environmental Hydrology. Ed. Y. Sakura, IAH, 4:163-171. Report 93-82, U. S. Geol. Survey, 28 p.
- PNUD - JRH (1992) – "Schema Directeur pour le secteur eau et assainissement" République du Cap Vert. Programation sectoriel 1993-2005. Projet CVI/87/001. Praia
- PNUD - CNAG (1993) – Schema Directeur Pour La Mise En Valeur Des Ressources En Eau 1993-2005 (volume I e II). Projet CVI/87/001: Assistance à la J.R.H. Praia.
- PNUD – (1991) – Assistência à Junta dos Recursos Hídricos (JRH) para a avaliação e gestão dos recursos em água (Projet PNUD/DCTD CVI 87/001). Praia.
- Poitrinal, P. (1991) – Assistência à Junta dos Recursos Hídricos (JRH) para a avaliação e gestão dos recursos em água, incluindo informações dos projectos – Projet CVI 75/001, Projet CVI 79/001, Projet CVI 82/001 e Projet CVI 86/001 (Projet PNUD/DCTD CVI 87/001). Praia.
- Pouchan, P., Faissole, F., Humbert, L. & Pelissier-Hermitte, G. (1988) – Aspects de l'hydrogéologie en Polynésie française. – *Hydrogéologie*, 2: 169-182.
- Prada, S. (2000) – Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira. Tese de Doutoramento. Universidade da Madeira, 351 p.
- Prada, S. & Silva, M. O. (2001) – Fog precipitation on the Island of Madeira. *Environmental Geology*, 41 (3–4): 384–389.
- Prada, S. (2005) – Groundwater behaviour in Madeira, volcanic island (Portugal). *Hydrogeology Journal*, Vol. 13, No. 5-6, pp. 800-812.
- Rabadan, E. (1992) – Estudio sísmico del eje de la presa de Trindade. Inédito. Madrid.
- Rigassi, D. A. (1975) – Micropaleontological investigations in Cabo Verde archipelago. *Proceedings Colóquio Geologia Africana*, Leeds.
- Rodrigues, F. C. (1993) – Estudo Hidrogeológico da Ilha Terceira: contributo para o seu conhecimento. Provas de Apt. Ped. Científica. Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Angra do Heroísmo.
- Rodrigues, F. C. (2002) – Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores–Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, 395 p. Angra do Heroísmo.
- Rodrigues, R. (1995) – Hidrologia de Ilhas Vulcânicas. Tese para obtenção de grau de especialista. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 397 p.

- Sabino, A. A. (1984) – Conservação do Solo e Água em Cabo Verde. Seminário realizado na Praia. CILSS/MDRP, Praia, República de Cabo Verde.
- Sabino, A. A. (1997) – Water Management and Soil Conservation in Cape Verde Islands. Drought and Flood Control Impacts. Water Resources Outlook for the 21st Century: Conflicts and Opportunities. IWRA/Université de Montréal. Canada.
- Sabino, A. A. (1999) – Integrated Drought Management in Cape Verde. International Conference on Integrated Drought Management, Lessons for Sub-Saharan, Africa. Pretoria, South Africa.
- Sabino, A. A. (2000). Projecto Piloto de Captação da Água das Nuvens em São Vicente – Monte Verde. Praia
- Sabino, A. A. (2000) – Water Management and soil Conservation in Cape Verde, Drought and flood control impacts. Praia.
- Sabino, A. A. (2004) – Experiments Conducted in Cape Verde. Constraints on Fog Collection Development Projects. Proceedings to the 3rd International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. 11-15 Outubro, Cape Town, South Africa.
- Sabino, A. A. & Nascimento, I. (1990) – Projecto de Captação da Água das Nuvens em São Vicente." INIA/MPA. São Jorge dos Órgãos, Ilha de Santiago. Cabo Verde.
- Serralheiro, A. (1976) – A geologia da ilha de Santiago. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 218 p. Lisboa.
- Serralheiro, A. (1976) – Carta geológica da Ilha de Santiago (Cabo Verde) na escala 1:25 000 (folhas 48 a 59). Junta de Investigações Científicas do Ultramar. Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar. Lisboa.
- Serralheiro, A. (1977) – Carta geológica da Ilha de Santiago (Cabo Verde) na escala 1:100 000. Junta de Investigações Científicas do Ultramar. Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar. Lisboa.
- Serviços Cartográficos do Exército (1969) – Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000. Província de Cabo Verde. Ilha de Santiago (folhas 48 a 59). Lisboa.
- Silva, R. (1991) – Diagnóstico do sector dos recursos hídricos. Ilha de Santiago. JRH-CNAG. Praia.
- Silva, R. (1989) – Results of five years of Hydrlogical Measurements in the Experimental Watershed of Fontes (1984-1988). Water and Soil Conservation Services. Praia.
- Spencer, F. (2000) – Interpretação e análise do ensaio de bombagem do furo FT-47, Ribeira de Saltos – Ilha de Santiago. Relatório INGRH, 1-7 p.

- Stillman, C.J., Furnes, H., Le Bas, M. J., Robertson, A. H. F. & Zielonka, J. (1982) – The geological history of Maio, Cape Verde Islands. *Journal of the geological society*, vol. 139, n.º 3, pp. 347-361. Londres.
- Takasak, K. J. & Mink, J. F. (1982) – Water resources of south-eastern Oahu, Hawaii. *Water-Resources Investigation*. 82-628. U.S. Geol. Survey, 89-91 p.
- Takasak, K. J. (1993) – Groundwater in Kilauea volcano and adjacent areas of Mauna Loa volcano, island of Hawaii. *Open-File Report 93-82*, U. S. Geol. Survey, 28 p. 1993.
- Teixeira, A.J.S. & Barbosa, L. A. (1958) – A Agricultura do Arquipélago de Cabo Verde. *Cartas Agrícolas. Problemas Agrários. Junt. Invest. Ultramar*, Lisboa, 178 p., 10 mapas. (Memórias, 2.^a série, 2).
- Thorntwaite, H.L. (1948) – Natural evaporation from open water, bare soil and grass, in : *The Geographical Review*, vol.38, 55-94, New York.
- Vailleux, Y. & Bourguet, L. (1974) – La mise en valeur des eaux souterraines dans l'archipel du Cap Vert. *Rapport de fin de mission. Ministério de Coordenação Interterritorial. Brigada de Águas Subterrâneas de Cabo Verde. Praia*. 291 pp.
- Veerger, A. (1991) – Geochemical methods for evaluating the origin and evolution of groundwater in volcanic rocks. *Tese de Doutorado. University of Arizona, Tucson*.
- Violette, S., Ledoux, E., Goblet, P. & Carbonnel, J-P. (1997) – Hydrological and thermal modeling of an active volcano: the Piton de la Fournaise, Reunion. – *J. Hydrology*, 191: 37-63.

Anexo A

Dados Postos Udométricos
Dados Estações Meteorológicas

A.1. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual

POSTO: PRAIA AEROPORTO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	10,7	99,1	47,8	0,9	0,0	0,0	159,6
1962	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	177,7	102,1	19,3	17,4	0,0	319,2
1963	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	146,3	6,4	40,6	2,6	0,0	202,2
1964	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,0	16,3	80,4	0,0	0,0	0,0	182,7
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	40,6	60,7	55,2	3,6	0,0	162,1
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,4	64,1	105,7	18,5	0,0	258,7
1967	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,8	259,5	0,0	0,0	0,0	323,3
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	80,8	20,4	0,8	0,7	103,9
1969	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	26,0	46,9	162,1	35,2	0,0	0,0	271,2
1970	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	**	4,2	0,0	0,0	0,0	7,2*
1971	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,1	11,3	15,4	0,0	0,0	125,6
1972	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	8,5	1,8	0,2	0,7	13,2
1973	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	18,6	6,4	0,0	0,0	41,5
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	78,7	20,5	0,0	0,0	104,0
1975	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6	115,0	270,2	3,5	0,0	0,0	409,2
1976	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	24,3	90,7	9,6	0,0	4,2	130,0
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	5,1	21,6
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	69,8	5,2	0,0	5,0	80,7
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	94,2	**	131,0	0,0	0,0	266,7*
1980	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	134,3	60,1	5,9	17,2	8,9	230,2
1981	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	32,5	28,3	0,0	0,0	1,6	79,0
1982	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,1	6,1	1,8	0,4	0,0	84,4
1983	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	7,0	43,4	0,0	0,0	0,0	55,6
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	1,9	133,5	1,0	6,3	20,0	175,6
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	17,1	79,1	0,0	0,0	4,8	104,0
1986	2,8	3,1	0,0	0,0	5,9	0,0	1,8	73,7	29,5	75,8	0,5	0,0	193,1
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	129,5	69,9	122,5	0,0	0,0	321,9
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	109,4	82,9	0,0	7,0	0,0	199,3
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,9	12,1	23,6	3,0	0,0	107,6
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,4	13,4	80,4	91,5	0,0	0,0	241,7
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	22,6	14,2	7,2	0,0	0,0	45,8
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	6,9	0,9	17,6	65,3	13,1	0,0	112,3
1993	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	52,0	43,7	0,0	0,0	0,0	124,7
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	9,1	1,5	0,0	0,7	32,6
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	78,8	111,0	11,2	0,0	121,4	334,0
1996	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	3,0	3,0	2,3	0,0	17,8
1997	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	96,3	55,9	1,4	0,0	0,0	154,5
1998	0,0	0,0	1,8	0,5	0,0	0,0	1,2	11,9	28,6	0,0	0,0	1,8	45,8
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	67,5	94,9	50,4	0,0	0,0	216,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	29,7	81,4	155,2	0,1	0,0	267,4
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	41,1	29,2	4,1	0,0	0,0	87,6
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	20,9	12,3	0,0	0,0	41,2
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	77,4	60,2	33,0	0,0	0,0	186,2
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	39,9	81,0	8,2	37,5	0,0	171,5
2005	6,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	74,1	80,0	6,5	0,0	0,0	179,7

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.2. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: TRINDADE

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	231,8	54,8	29,4	0,0	0,0	316,0
1963	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	143,0	50,9	25,2	0,0	219,4
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,9	24,7	129,6	0,0	0,0	209,2
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	81,2	89,7	26,7	5,3	203,9
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,9	154,4	99,9	8,1	367,3
1967	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	513,0	136,0	3,0	681,5
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	24,4	9,5	0,0	35,6
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,4	198,5	13,2	0,0	284,1
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	189,6	80,3	0,0	0,0	269,9
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
1973	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,4	17,7	4,8	0,0	45,4
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	7,3	113,9	0,0	0,0	122,9
1975	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	86,6	257,9	3,5	0,0	380,4
1976	0,0	1,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,0	185,4	12,2	0,0	246,1
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0	0,0	15,1
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	111,5	8,5	0,0	132,2
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8	1,1	3,7	125,5	0,0	151,1
1980	0,0	52,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	146,8	73,8	0,0	0,0	273,1
1981	7,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	58,2	24,0	0,0	0,0	110,7
1982	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,7	3,3	6,0	2,6	65,8
1983	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	17,0	72,3	0,0	0,0	90,9
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	2,2	164,5	0,0	29,6	225,9
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,2	32,8	101,2	0,0	0,0	145,7
1986	6,0	5,6	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,8	72,4	55,2	77,1	0,0	225,1
1987	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	189,6	80,3	128,0	0,0	398,6
1988	0,0	52,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,8	72,4	0,0	160,0	424,7
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	28,9	26,5	0,4	79,2
1990	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,5	41,6	113,7	87,6	0,6	346,6
1991	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	11,5	0,0	41,1	103,6	0,0	159,7
1993	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	71,5	70,0	0,0	0,0	169,1
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	8,0	0,0	0,0	45,0
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	97,5	66,0	0,0	0,0	182,3
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,0	6,0	0,0	0,0	65,0
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,0	28,0	0,0	0,0	149,0
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,0	35,0	0,0	0,0	94,0
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	148,0	97,0	0,0	335,0
2000	17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	112,5	0,0	0,0	169,8
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	54,0	104,0	6,0	42,6	222,6
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	34,0	50,0	0,0	95,0

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.3. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: BABOSA PICOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,5	216,4	411,0	8,0	0,7	0,0	680,6
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	14,0	194,5	164,0	86,4	38,5	0,0	497,7
1963	1,2	3,9	0,0	0,0	0,0	0,1	69,0	392,5	177,2	121,5	0,0	0,0	765,4
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	137,9	83,2	234,9	0,0	0,0	0,0	456,0
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	230,9	297,2	0,0	0,0	528,1
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	**	0,0	0,0	0,0	20,0*
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,3	227,0	19,0	8,5	25,3	321,1
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,6	81,7	279,6	72,4	1,4	0,0	521,7
1970	0,0	11,7	0,4	0,0	0,3	0,5	17,1	84,5	75,0	13,2	8,3	0,7	211,7
1971	0,0	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	415,3	47,5	25,6	7,5	0,0	512,8
1972	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	9,2	0,0	11,4	9,8	2,5	5,5	8,1	47,7
1973	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	129,2	110,0	21,5	0,0	0,0	271,5
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,4	**	**	0,0	0,0	79,4*
1975	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	107,2	193,3	0,0	0,0	0,0	304,4
1976	0,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	468,0	0,0	3,8	21,9	536,2
1977	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	29,3	**	0,0	0,0	0,0	36,8*
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	141,2	257,0	155,4	1,1	14,7	569,5
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,8	80,4	55,7	246,9	0,0	1,3	435,1
1980	1,4	0,0	1,2	1,1	0,0	1,7	5,9	201,5	109,1	32,7	26,1	0,0	380,7
1981	11,2	14,1	2,0	0,0	1,1	0,1	33,6	64,2	150,3	0,0	0,0	118,8	395,4
1982	48,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6	185,4	25,2	94,9	7,1	5,5	385,5
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,5	173,9	0,0	0,0	0,0	271,4
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,7	51,0	292,0	10,0	85,4	26,1	547,2
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	71,3	174,0	0,0	5,5	24,4	316,1
1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	207,8	169,4	100,7	0,0	0,0	498,3
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	343,6	135,2	268,2	0,0	0,0	747,0
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	257,0	72,7	15,0	57,3	0,0	415,9
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	215,4	71,9	39,6	0,0	0,0	326,9
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	43,4	174,6	93,1	0,0	0,0	356,1
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,6	238,2	32,5	0,0	0,0	350,3
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,3	40,2	83,5	149,0	16,1	0,0	361,1
1993	65,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	180,4	132,9	0,0	0,0	0,0	399,3
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,0	81,1	4,2	0,0	0,0	142,3
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,3	141,4	166,6	75,5	0,0	112,9	523,7
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	135,9	78,3	0,0	11,2	0,0	228,9
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	222,1	82,5	0,0	0,0	0,0	304,6
1998	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	11,3	78,1	146,2	0,0	0,0	0,0	238,1
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,9	165,9	245,3	263,6	0,0	0,0	752,7
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	182,9	232,3	200,1	0,0	0,0	637,9
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,2	157,4	114,6	55,0	78,0	0,0	437,2
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,2	154,6	68,2	0,0	0,0	303,0
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,2	159,8	308,5	176,6	0,0	0,0	683,1
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	171,7	169,9	32,5	50,8	0,0	437,1
2005	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,0	110,7	171,5	86,3	0,0	0,0	480,0

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.4. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: SÃO FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	140,0	99,8	0,0	0,0	0,0	257,8
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,6	52,9	28,3	11,0	0,0	173,8
1963	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	101,4	25,5	36,5	2,0	0,0	176,0
1964	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,7	26,0	124,3	0,0	0,0	0,0	211,5
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	58,3	87,9	98,5	19,3	0,0	266,6
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,1	61,8	124,6	68,0	0,0	324,5
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	365,8	151,7	3,0	0,0	566,5
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	31,3	22,0	2,0	0,3	56,6
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	52,0	148,6	1,4	0,0	0,0	218,5
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	17,8	11,2	0,0	0,0	0,0	30,8
1971	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,7	8,6	22,0	0,0	0,0	91,6
1972	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	3,6
1973	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	**	0,0	0,0	0,0	22,1*
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,7	125,0	5,5	0,0	13,8	146,0
1979	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	126,0	6,5	159,2	0,0	0,0	336,9
1980	6,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	143,6	55,8	5,0	13,6	16,9	245,0
1981	6,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	37,8	41,6	0,0	0,0	1,0	92,8
1982	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	3,6	35,7	1,0	0,0	86,1
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,1	63,1	0,0	0,0	0,0	112,2
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	12,8	115,6	0,0	14,1	21,2	165,5
1985	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	31,0	54,2	0,0	0,0	2,8	92,2
1986	6,3	7,2	0,0	0,0	3,0	2,2	3,0	142,8	85,4	118,8	0,0	0,0	368,7
1987	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	173,0	113,4	101,3	0,0	0,0	389,7
1988	1,8	40,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	126,5	90,9	0,0	41,8	0,0	301,1
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,8	27,2	25,1	0,7	2,5	106,3
1990	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,5	26,0	103,9	83,2	0,0	0,0	310,2
1991	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	32,2	16,9	0,8	0,0	0,0	51,8
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	8,1	4,9	65,4	147,0	7,3	0,0	239,1
1993	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2	50,8	85,0	0,0	0,0	0,0	178,5
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	14,5	1,0	0,0	0,0	40,5
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	105,5	109,0	10,0	0,0	126,0	373,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,0	15,0	8,0	0,0	0,0	116,0
1997	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	185,5	60,0	0,0	0,0	0,0	251,0
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,0	35,6	0,0	0,0	90,6
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,5	111,5	105,5	0,0	0,0	298,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	20,0	56,5	226,0	0,0	0,0	319,5
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	57,7	71,2	14,8	6,6	0,0	157,3
2002	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	50,5	56,5	0,0	0,0	123,4
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	85,5	147,8	103,3	0,0	0,0	350,6
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	17,5	95,5	19,6	43,0	0,0	183,6
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	86,5	68,0	11,9	0,0	0,0	179,9

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.5. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: CURRALINHO													
Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	194,3	272,0	227,0	7,0	10,4	0,0	710,7
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	15,5	410,1	196,2	88,0	35,1	0,0	746,1
1963	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	407,4	181,6	143,0	0,0	3,0	794,4
1964	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	177,5	67,5	267,5	0,0	0,0	0,0	521,5
1965	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	20,6	262,8	381,1	287,9	117,5	0,0	1.073,4
1966	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	129,9	259,7	209,2	225,5	0,0	826,9
1967	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	98,0	635,4	259,7	37,6	0,0	1.033,6
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	59,9	250,9	0,0	22,3	25,0	359,6
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	135,9	125,8	**	**	0,0	1,0	262,7*
1970	1,0	9,7	0,0	0,0	0,0	3,0	18,3	83,4	185,0	43,5	14,5	0,0	358,4
1971	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	361,9	30,0	17,0	4,5	0,0	419,8
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	6,2	1,0	9,0	18,0	39,6
1973	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	129,9	78,5	0,0	0,0	0,1	226,3
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,6	115,4	338,9	64,5	0,0	0,0	561,4
1975	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,7	201,1	379,4	6,2	0,0	0,0	726,4
1976	0,0	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	183,3	555,3	**	0,0	38,7	789,1*
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	14,0	**	0,0	0,0	68,1*
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,0	174,0	50,4	0,0	0,0	307,4
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,9	98,0	22,0	214,5	0,0	0,0	376,4
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	22,5	72,5	114,5
1981	34,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	143,5	90,0	0,0	0,0	1,0	315,5
1982	26,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	135,0	21,0	46,5	5,0	0,0	248,3
1983	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,0	183,5	0,0	0,0	5,5	278,0
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	24,5	347,0	13,0	67,0	34,0	515,5
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	109,7	101,0	168,0	121,0	0,0	36,0	535,7
1986	3,5	11,5	0,0	0,0	14,5	0,0	9,5	74,0	347,5	117,5	0,0	0,0	578,0
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	310,0	83,0	288,9	0,0	0,0	683,4
1988	4,5	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	316,0	158,2	25,0	78,5	0,0	627,7
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	221,1	97,5	76,4	9,0	37,0	441,0
1990	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	94,0	58,0	190,2	170,0	0,0	0,0	540,2
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,5	57,0	15,0	7,0	0,0	177,5
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	15,5	90,5	167,5	7,0	0,0	288,7
1993	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	314,0	131,3	0,0	0,0	0,0	506,2
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	112,7	84,6	0,0	0,0	0,0	213,3
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	139,0	256,5	55,0	0,0	80,2	559,7
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	170,9	67,2	0,0	0,0	0,0	240,9
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	404,8	83,2	19,1	0,0	0,0	507,1
1998	0,0	0,0	2,5	4,9	0,0	0,0	8,3	94,2	98,6	0,0	0,0	0,0	208,5
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	207,5	243,7	249,2	0,0	0,0	738,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	173,9	389,6	134,2	0,0	0,0	707,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	216,0	101,7	42,2	44,5	0,0	448,1
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	111,3	140,5	93,7	0,0	0,0	345,5
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,0	143,0	279,3	72,2	0,0	0,0	550,5
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	130,3	160,7	91,2	42,8	0,0	425,0
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,6	151,1	176,6	**	0,0	0,0	369,3*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.6. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: SERRA MALAGUETA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,9	384,1	455,2	18,3	6,1	0,0	940,6
1962	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	15,7	205,7	288,2	159,5	62,3	2,1	741,1
1963	31,8	37,3	0,0	0,0	2,1	0,0	102,5	610,0	312,4	282,7	0,0	0,0	1.378,8
1964	2,2	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	227,2	287,1	390,6	6,3	0,0	0,0	929,0
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	29,5	291,0	539,7	399,9	258,1	0,0	1.525,4
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	222,9	335,9	558,3	445,9	0,0	1.567,8
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,2	198,5	680,3	616,6	84,9	0,0	1.583,9
1968	0,0	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	39,9	428,6	35,5	17,3	35,3	576,2
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	163,1	298,9	21,0	0,0	0,0	529,0
1970	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	113,1	90,5	45,0	5,5	0,0	274,7
1971	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	338,4	42,5	24,2	0,0	0,0	426,3
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	7,0	4,8	0,0	6,0	10,5	31,0
1973	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	132,9	93,8	0,0	0,0	0,0	235,7
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,8	35,1	**	0,0	**	0,0	80,9*
1975	25,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,8	215,5	**	0,0	0,0	0,0	379,6*
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	208,6	590,3	0,0	0,0	0,0	798,9
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	20,5	2,5	0,0	0,0	106,3
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**	529,3	501,0	0,0	7,0	1.037,3*
1979	7,9	0,0	9,9	0,0	0,0	0,0	68,1	185,4	123,7	702,0	3,5	0,0	1.100,5
1980	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**	**	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1*
1981	23,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0	114,5	213,9	34,5	0,0	5,0	463,2
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	205,2	110,0	171,0	2,4	0,0	513,6
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,4	312,6	0,0	0,0	0,0	399,0
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	57,0	94,4	425,0	15,0	85,6	30,8	710,8
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	227,3	357,4	0,0	0,0	26,0	673,4
1986	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,0	280,0	236,4	167,6	0,0	0,0	732,0
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	439,0	145,0	160,0	0,0	0,0	744,0
1988	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	395,6	159,4	23,0	65,0	0,0	673,0
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	407,5	87,5	37,0	0,0	0,0	532,0
1990	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,4	75,2	290,0	230,0	0,0	0,0	714,6
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	182,3	118,0	25,0	0,0	0,0	325,3
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	123,0	72,5	149,5	83,5	25,9	0,0	458,4
1993	59,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	259,5	168,8	0,0	0,0	0,0	516,3
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,6	119,9	0,0	0,0	0,0	211,5
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,5	166,8	262,2	41,0	0,0	66,7	604,2
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	166,1	40,1	0,0	21,5	0,0	238,7
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	390,6	152,5	0,0	0,0	0,0	565,6
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,8	51,5	212,3	0,0	0,0	0,0	308,6
1999	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,2	213,8	306,6	281,9	6,7	0,0	969,6
2000	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,1	215,2	261,6	292,5	0,0	0,0	818,1
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,5	208,6	163,6	75,5	166,6	0,0	658,8
2002	34,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	123,0	256,1	115,2	0,0	0,0	529,1
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,9	341,1	295,1	308,5	0,0	0,0	989,6
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	111,5	178,7	160,5	10,0	0,0	460,7
2005	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,0	119,6	293,2	21,0	0,0	0,0	551,8

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.7. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: SÃO JORGE ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,4	101,5	261,8	2,4	7,2	0,0	444,3
1962	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	1,7	4,5	208,3	156,0	64,4	28,0	1,0	464,9
1963	1,8	27,7	0,0	0,0	0,8	0,0	25,7	320,4	107,4	124,1	0,0	0,8	608,7
1964	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	176,0	56,2	193,6	0,0	0,0	0,0	426,8
1965	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	14,3	190,5	288,6	260,0	99,5	0,0	855,6
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	145,8	195,5	247,6	157,5	0,0	746,8
1967	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	2,7	2,5	127,2	401,2	314,5	23,2	0,0	872,5
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,0	268,5	0,0	13,5	18,0	364,0
1969	6,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	101,5	63,0	180,5	40,5	0,0	2,0	395,1
1970	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	69,3	121,0	3,5	6,0	1,0	217,9
1971	0,0	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	219,0	32,1	20,0	3,8	0,0	289,3
1972	0,6	0,0	2,4	0,0	0,0	2,6	0,0	11,3	6,5	3,6	7,2	11,3	45,5
1973	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	141,9	102,4	6,5	0,0	0,0	258,9
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	68,0	230,6	79,5	0,0	0,0	413,9
1975	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	126,6	149,9	163,9	13,2	0,0	0,0	466,1
1976	1,5	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,2	312,4	29,9	0,0	34,0	452,0
1977	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,3	8,3	1,8	0,0	0,0	44,1
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,2	236,5	105,0	0,0	23,2	440,9
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	90,6	30,2	148,8	0,0	0,0	304,6
1980	0,0	2,2	0,4	0,0	0,0	1,7	5,4	205,2	89,5	26,4	22,2	123,3	476,3
1981	12,4	7,0	0,5	0,0	0,0	0,0	33,1	67,8	75,1	0,0	0,0	8,0	203,9
1982	43,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	148,6	35,6	78,9	4,9	0,8	321,2
1983	2,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	1,3	98,3	149,9	1,0	0,0	1,1	255,0
1984	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,2	58,0	29,0	347,3	2,5	74,7	25,3	538,5
1985	0,8	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	42,1	80,0	388,6	0,1	2,4	36,8	552,4
1986	8,6	6,4	0,1	0,7	4,0	0,0	23,1	159,1	513,5	125,1	0,8	0,3	841,7
1987	0,3	4,2	0,4	0,0	0,0	0,2	2,5	320,5	103,7	199,4	1,6	1,8	634,6
1988	4,6	46,7	4,1	0,0	0,0	0,1	15,2	266,1	79,6	6,8	99,5	1,3	524,0
1989	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	5,3	224,9	48,0	50,2	3,5	35,5	368,5
1990	31,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	55,0	142,0	109,2	3,4	0,2	392,5
1991	0,3	4,6	0,0	0,2	0,0	0,0	1,9	78,1	119,8	18,7	0,2	5,4	229,2
1992	48,4	0,2	0,1	0,0	0,4	0,0	60,6	39,9	99,4	156,0	28,4	0,1	433,5
1993	48,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	22,2	180,0	127,4	2,4	5,1	0,2	386,4
1994	2,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	4,2	74,8	76,7	15,3	0,0	0,0	173,7
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	138,0	201,6	30,9	1,2	38,8	448,4
1996	10,7	1,5	3,0	0,0	0,0	0,7	5,7	169,3	65,5	10,1	13,4	2,3	282,2
1997	11,8	0,0	0,0	0,2	0,0	1,9	9,6	237,6	75,4	4,6	0,1	0,0	341,2
1998	4,6	0,0	2,6	2,6	0,0	0,0	17,2	76,9	185,3	3,8	0,5	4,0	297,5
1999	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,2	151,5	232,9	192,6	5,5	1,4	663,0
2000	1,9	0,1	0,0	0,6	0,0	0,6	29,9	107,1	223,0	175,7	4,9	1,2	545,0
2001	0,8	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	54,8	163,3	81,3	48,4	82,5	2,6	434,1
2002	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	72,7	119,1	49,7	0,2	0,0	258,6
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	49,2	169,4	381,3	112,3	0,0	0,0	713,2
2004	1,4	0,7	0,3	0,8	0,0	0,0	32,7	87,4	187,1	55,3	42,2	0,4	408,3
2005	18,7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	48,9	93,5	167,6	72,9	0,0	0,0	405,4

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.8. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)

POSTO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,6	407,9	479,4	4,2	0,0	0,0	992,1
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	322,7	279,8	131,1	73,6	0,0	811,7
1963	0,0	37,3	0,0	0,0	0,0	0,0	59,6	485,6	211,1	175,3	0,0	8,2	977,1
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	168,6	127,1	305,8	0,0	0,0	0,0	601,5
1965	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	244,6	185,1	365,2	154,7	0,0	953,1
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	141,8	242,9	392,1	269,5	0,0	1.046,3
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,2	705,5	514,1	38,2	0,0	1.327,0
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	56,9	288,0	18,8	7,3	22,4	397,5
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	114,2	92,5	287,9	106,3	0,0	0,0	600,9
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	123,3	80,3	8,2	0,0	0,0	224,9
1971	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	436,9	47,7	22,4	0,0	0,0	520,2
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	1,2	0,0	5,1	2,4	18,1
1973	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	201,0	112,0	41,0	0,0	0,0	360,2
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	52,9	**	90,2	0,0	0,0	180,6*
1975	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	157,5	245,8	0,0	0,0	0,0	425,1
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,9	433,2	0,0	0,0	0,0	506,1
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,5	7,0	0,0	0,0	0,0	37,5
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5	172,7	158,0	45,0	0,0	407,2
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	122,0	77,0	271,0	0,0	0,0	520,0
1981	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	55,0	153,5	110,0	0,0	0,0	383,5
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	164,9	56,7	54,0	0,0	0,0	275,6
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,7	160,0	0,0	0,0	0,0	259,7
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,0	160,0	187,0	76,0	53,0	0,0	104,0
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	76,6	123,0	0,0	0,0	10,5	257,5
1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	224,2	189,6	100,2	0,0	0,0	526,2
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	220,4	90,2	243,2	0,0	0,0	554,8
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	238,5	84,6	8,1	50,7	0,0	390,2
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,8	56,1	7,8	23,6	0,0	325,3
1990	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	43,4	221,5	81,8	0,0	0,0	410,5
1991	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	25,3	237,9	11,6	0,0	0,0	278,9
1992	0,0	0,0	0,0	4,1	4,1	0,0	66,3	34,4	130,6	115,7	3,9	0,0	359,1
1993	48,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,1	201,5	138,4	0,0	0,0	0,0	419,6
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	76,0	106,4	1,6	0,0	0,0	186,4
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	135,1	142,6	17,0	0,0	57,1	388,5
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	69,9	33,9	13,7	7,9	0,0	131,8
1997	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	137,9	103,9	7,8	0,0	0,0	265,4
1998	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	20,1	78,7	175,6	1,2	0,0	0,0	287,8
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	21,2	292,2	189,1	0,0	0,0	517,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	178,4	309,8	164,8	0,0	0,0	670,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,7	164,7	129,4	62,0	42,4	0,0	423,2
2002	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	181,1	98,9	0,0	0,0	379,4
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,8	120,8	288,0	105,8	0,0	0,0	574,4
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,8	217,5	43,7	38,0	0,0	392,0
2005	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,2	120,0	183,7	105,0	0,0	0,0	524,9

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.9. Postos udométricos – Pluviometria (mm) total mensal e anual (continuação)**POSTO: CHÃO BOM**

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	TOTAL
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	176,9	155,5	0,0	0,0	0,0	352,6
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	62,0	65,7	46,6	4,0	0,0	182,8
1963	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	108,3	40,5	52,0	0,0	0,0	214,3
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,5	83,5	54,0	15,0	0,0	193,0
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	10,0	87,0	0,0	0,0	127,0
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,0	157,0	156,0	0,0	0,0	376,0
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	147,0	0,0	0,0	0,0	160,0
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0	116,0	96,0	10,0	0,0	0,0	61,0
1970	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	39,0	20,0	12,5	0,0	0,0	80,5
1971	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,7	27,9	38,5	0,0	0,0	136,1
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,5	27,9	0,0	1,5	0,0	33,0
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,1	93,2	0,0	0,0	0,0	128,3
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	26,9	46,7	9,0	0,0	0,0	83,8
1975	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,0	24,5	142,0	3,5	0,0	0,0	225,7
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	125,2	21,5	0,0	1,0	167,2
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,5	2,8
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	20,0	136,0	58,0	0,0	48,5	270,0
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	52,5	24,5	123,5	0,0	0,0	222,5
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	56,3	34,7	5,5	40,1	9,3	94,9
1981	29,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	54,5	59,4	0,0	0,0	0,5	164,9
1982	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	40,5	20,0	3,2	0,0	102,7
1983	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,4	108,6	0,0	0,0	0,2	147,1
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	28,0	214,8	0,0	4,2	20,2	279,2
1985	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	23,2	36,5	0,0	0,0	5,0	76,2
1986	0,0	1,9	0,0	0,0	0,2	0,0	4,1	65,0	159,6	44,1	2,3	0,0	277,2
1987	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	206,3	69,4	66,7	0,0	0,0	342,9
1988	2,3	40,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	103,6	91,3	0,0	47,6	1,0	287,7
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,6	21,4	6,0	0,0	0,0	215,0
1990	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	50,4	147,4	62,2	0,0	0,0	288,3
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	126,4	11,1	40,4	0,0	1,0	180,7
1992	5,0	0,6	0,0	0,0	14,6	0,0	84,8	6,3	41,7	44,9	6,9	0,0	204,8
1993	24,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	230,0	96,7	0,0	0,0	0,0	352,8
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	44,2	0,0	0,0	0,0	65,6
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	33,2	7,0	19,6	0,0	0,0	74,6
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,6	10,8	0,0	3,9	0,0	51,3
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	69,9	10,2	0,0	0,0	0,0	83,9
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	20,4	43,8	0,0	0,0	0,0	69,7
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	77,4	378,8	199,6	0,0	0,0	664,3
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7	140,9	8,5	0,0	0,0	172,1
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,7	39,6	103,9	90,3	109,2	0,0	367,7
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	132,3	38,8	0,0	0,0	185,7
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,8	104,7	221,3	163,5	0,0	0,0	526,3
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	102,3	93,0	5,0	14,0	0,0	229,1
2005	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	12,4	28,4	0,0	0,0	0,0	69,6

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.10. Estações meteorológicas – Temperatura média (°C)

ESTAÇÃO: PRAIA AEROPORTO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1973	23,2	22,3	23,6	24,8	25,5	26,2	26,2	27,6	27,7	27,4	26,3	24,0	25,4
1974	23,1	22,4	21,9	22,3	23,8	25,0	25,6	27,1	27,3	26,9	25,2	23,5	24,5
1975	23,1	23,0	22,6	23,3	23,5	25,6	25,5	26,6	26,3	26,7	25,4	24,1	24,6
1976	22,3	22,0	22,3	23,0	23,3	24,4	25,6	27,2	27,3	26,8	25,7	22,7	24,4
1977	22,8	23,1	24,3	24,0	24,4	25,4	25,1	26,2	27,4	26,9	26,4	24,2	25,0
1978	23,2	23,4	23,8	23,4	24,5	25,1	25,5	26,8	27,3	28,1	27,1	24,4	25,2
1979	23,2	24,7	23,9	25,6	26,2	26,1	26,0	27,2	28,0	27,3	25,9	24,7	25,7
1980	23,3	23,8	24,0	25,7	25,0	25,9	26,2	26,9	27,4	27,4	25,4	23,8	25,4
1981	23,8	22,7	24,5	24,1	24,7	25,4	25,8	27,0	27,2	27,3	26,1	24,9	25,3
1982	23,1	22,6	23,3	23,8	24,8	25,6	26,0	26,6	27,2	27,1	25,8	23,3	24,9
1983	23,0	23,7	25,0	24,6	24,9	25,7	26,0	27,0	27,4	27,6	26,7	24,1	25,5
1984	22,2	23,0	22,5	23,7	24,6	25,4	26,0	27,3	26,9	26,9	25,4	23,1	24,8
1985	21,9	22,9	22,4	22,7	23,4	25,3	26,1	26,9	28,0	28,2	26,3	24,2	24,9
1986	21,9	21,4	22,2	23,6	24,4	24,8	25,4	27,3	27,7	26,9	25,2	23,4	24,5
1987	22,4	22,7	24,7	26,1	26,4	26,3	27,0	27,4	28,1	26,4	26,4	25,1	25,8
1988	22,3	21,9	24,1	24,3	24,7	25,1	25,8	26,5	27,2	27,2	26,1	23,4	24,9
1989	22,4	22,3	22,7	23,0	25,2	26,7	26,7	27,3	28,1	27,5	25,9	24,6	25,2
1990	22,2	24,5	25,1	23,9	25,4	25,4	26,2	27,8	28,3	27,7	26,1	24,5	25,6
1991	22,9	22,3	22,6	23,9	24,3	25,7	26,0	26,8	28,1	27,4	26,8	24,4	25,1
1992	23,5	22,9	23,8	23,7	25,2	25,4	25,8	26,9	27,6	26,2	25,2	23,3	25,0
1993	22,3	22,8	23,0	23,6	24,6	25,0	25,9	27,3	27,5	26,7	24,6	23,4	24,7
1994	21,8	22,6	22,1	23,7	23,9	25,1	25,7	26,7	27,2	27,0	26,5	24,3	24,7
1995	23,0	23,4	22,2	22,9	25,1	26,1	26,5	27,1	27,2	27,8	27,3	24,6	25,3
1996	24,1	23,1	23,3	24,9	25,2	25,6	26,5	27,0	27,2	27,4	26,1	23,8	25,4
1997	23,5	25,2	23,7	24,1	25,1	26,2	26,0	26,6	24,9	24,6	**	21,0	24,6*
1998	23,2	24,8	24,8	24,1	24,1	25,4	25,9	26,7	26,8	27,7	26,9	23,9	25,4
1999	**	21,1	21,6	23,0	**	**	25,8	26,5	26,7	26,3	25,6	**	24,6*
2000	21,6	22,7	24,6	24,0	23,3	24,7	25,6	27,0	27,3	**	25,0	23,8	24,5*
2001	22,7	23,1	24,3	24,1	23,6	24,9	26,1	27,6	27,6	27,5	26,1	25,3	25,2
2002	24,3	24,0	24,1	23,5	24,0	24,7	25,1	26,4	27,5	27,2	25,4	24,3	25,0
2003	23,7	22,7	24,4	25,3	25,7	26,3	27,2	28,3	28,5	28,0	27,2	25,6	26,1
2004	24,1	24,3	24,7	24,5	25,1	26,4	27,4	28,3	28,6	28,6	27,1	25,0	26,2
2005	23,9	22,6	25,5	25,6	26,9	27,1	28	28,4	27,9	28	26,6	25,4	26,3

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1987	**	**	**	**	**	**	22,6	23,7	23,7	22,2	22,5	20,8	22,6*
1988	18,8	18,1	20,8	20,2	20,7	21,2	22,4	22,5	23,5	22,6	21,0	19,1	20,9
1989	17,9	17,6	17,8	18,0	20,9	22,5	22,1	22,1	23,3	22,7	21,0	20,1	20,5
1990	17,3	20,6	21,3	19,3	20,8	20,6	22,2	23,8	23,6	23,1	21,3	19,8	21,1
1991	18,1	17,4	17,6	19,4	19,7	20,9	21,5	22,4	23,4	22,6	22,1	19,8	20,4
1992	19,2	18,1	19,0	19,3	20,4	21,2	21,3	22,1	22,7	21,7	21,1	18,6	20,4
1993	17,7	17,9	18,5	19,5	20,4	21,2	22,1	23,1	23,0	22,2	20,0	19,1	20,4
1994	17,3	18,4	17,7	19,8	19,8	21,3	22,0	22,7	22,8	22,4	22,2	20,2	20,6
1995	18,9	19,2	17,8	18,6	21,2	22,5	22,5	23,7	23,5	23,7	23,4	20,4	21,3
1996	20,1	18,7	19,3	20,7	21,6	22,2	22,8	23,4	23,1	23,6	22,0	20,2	21,5
1997	19,6	21,2	20,4	20,6	21,6	22,5	22,0	23,0	23,3	23,3	22,4	19,9	21,7
1998	19,9	22,0	21,3	20,2	20,4	22,1	22,9	23,7	23,7	24,0	23,3	20,0	22,0
2000	19,8	19,3	21,9	20,6	19,9	22,1	22,3	23,3	23,7	22,4	21,4	20,1	21,5
2001	19,2	20,3	21,4	20,8	20,5	22,2	22,7	23,7	24,0	23,9	22,5	21,8	21,9

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.11. Estações meteorológicas – Temperatura média (°C) (continuação)

ESTAÇÃO: S. FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1980	**	**	**	**	20,9	**	24,8	25,6	25,9	25,9	24,8	22,9	24,4*
1981	22,7	20,1	23,0	22,7	23,6	24,0	24,8	25,8	26,9	25,9	25,3	24,2	24,1
1982	23,1	21,3	22,0	22,4	23,2	24,3	24,8	25,6	26,4	25,8	24,8	22,7	23,9
1983	22,1	23,4	23,9	23,5	23,6	24,5	25,1	26,1	26,5	26,9	25,8	23,5	24,6
1984	21,3	22,7	21,2	22,5	23,5	24,4	25,7	26,6	25,9	26,4	25,0	22,6	24,0
1985	21,5	22,0	21,6	21,9	22,2	24,5	23,4	26,2	26,2	27,2	25,7	23,5	23,8
1986	20,6	20,4	21,0	22,3	23,4	23,5	24,5	26,3	26,6	25,8	24,4	22,3	23,4
1987	21,8	22,0	24,3	25,0	25,1	**	25,8	26,3	27,2	25,9	25,9	24,4	24,9*
1988	21,6	21,3	23,5	23,5	24,0	24,5	25,5	25,9	26,5	26,3	25,0	22,8	24,2
1989	21,7	21,5	21,6	21,6	24,1	25,5	25,9	26,5	27,1	26,6	25,1	**	24,3*
1990	**	23,8	24,6	23,1	24,0	24,4	25,4	27,0	27,0	26,7	25,1	23,5	25,0
1991	22,1	21,5	21,4	22,6	23,0	24,3	25,2	26,0	27,2	26,6	25,7	23,9	24,1
1992	23,1	**	22,8	**	24,1	24,7	25,0	26,1	**	25,7	25,0	22,7	24,4*
1993	21,9	21,9	22,1	22,7	23,8	24,7	**	26,5	26,7	26,2	24,3	23,0	24,0*
1994	21,3	21,2	21,1	22,6	23,2	24,9	25,3	25,8	26,5	26,3	25,6	24,1	24,0
1995	22,3	22,3	21,5	22,2	24,2	25,3	26,2	27,4	27,1	27,2	26,7	23,7	24,7
1996	23,2	22,6	22,6	23,9	24,8	**	26,3	26,7	26,9	26,8	25,4	23,7	24,8*
1997	23,0	24,0	23,6	23,6	24,7	25,7	25,6	26,3	26,0	26,4	25,5	23,7	24,8
1998	22,8	24,0	24,8	23,8	24,0	25,2	26,0	27,1	27,2	27,8	26,6	23,6	25,2
1999	21,3	20,8	21,0	23,0	24,4	25,4	25,8	26,4	26,4	26,0	25,1	24,2	24,2
2000	21,4	22,4	24,4	24,0	23,4	25,3	25,8	27,1	27,3	25,7	24,7	23,5	24,6
2001	22,5	22,8	24,0	23,6	23,6	25,1	26,1	27,4	27,5	27,2	26,3	25,3	25,1

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: S. JORGE DOS ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	19,6	19,3	21,6	21,8	22,6	24,1	23,8	24,6	24,8	24,4	23,2	21,7	22,6
1982	20,8	19,6	20,4	21,0	21,8	23,4	23,5	23,6	24,2	23,5	21,7	20,3	22,0
1983	20,0	21,1	22,3	21,5	22,5	23,7	23,7	24,3	24,5	24,3	23,2	20,8	22,7
1984	19,0	20,0	19,4	20,8	22,1	23,3	23,9	24,5	24,3	23,6	21,8	19,7	21,9
1985	18,7	19,2	19,5	19,9	20,7	23,4	23,7	24,3	24,6	24,3	22,7	20,8	21,8
1986	18,4	18,5	19,0	20,8	22,3	22,1	23,0	24,8	24,6	23,5	21,7	19,6	21,5
1987	19,0	19,4	21,8	23,3	23,8	24,2	24,4	24,9	24,9	23,5	22,7	21,0	22,7
1988	18,8	19,5	21,0	21,5	22,2	22,9	24,2	23,8	24,7	23,2	21,7	19,8	21,9
1989	18,6	19,0	19,7	19,8	22,6	24,5	24,4	24,8	24,7	24,1	22,1	21,1	22,1
1990	19,1	21,0	22,3	20,8	22,7	22,7	23,8	25,3	24,9	24,0	22,3	20,9	22,5
1991	19,6	19,0	19,3	21,0	21,2	22,9	23,5	24,2	25,2	23,9	23,2	21,3	22,0
1992	20,4	20,2	20,8	21,5	23,1	23,7	23,6	24,1	24,3	23,1	21,8	20,1	22,2
1993	18,9	19,5	20,3	21,1	22,6	23,2	23,8	24,7	24,4	23,2	21,3	20,1	21,9
1994	18,6	19,5	19,3	21,5	21,7	23,5	23,7	24,6	24,5	23,7	23,0	21,4	22,1
1995	20,2	20,7	19,7	20,7	23,1	24,4	24,3	25,5	24,7	24,3	23,6	21,2	22,7
1996	20,9	20,3	20,7	22,5	23,4	24,3	24,7	24,9	24,5	24,6	22,8	21,4	22,9
1997	21,0	22,6	21,7	21,7	23,6	24,4	24,0	24,7	24,7	23,9	22,9	20,7	23,0
1998	20,6	22,7	22,6	22,1	22,3	23,9	24,6	25,4	25,1	24,6	23,8	21,4	23,3
1999	19,2	18,7	19,1	21,5	23,0	24,4	23,8	24,3	24,5	23,9	22,0	20,8	22,1
2000	19,0	19,7	22,1	22,1	21,2	23,2	23,6	24,7	24,8	23,3	21,2	19,9	22,1
2001	19,2	20,5	21,8	21,6	21,6	23,5	24,2	24,7	25,1	24,2	22,5	22,1	22,6
2002	21,2	21,4	21,1	21,4	22,2	23,3	23,4	24,5	24,9	24,4	22,8	21,3	22,7
2003	20,2	19,0	21,4	22,2	22,7	23,4	**	**	25,0	24,1	22,4	20,6	22,1*
2004	19,2	19,7	20,2	20,7	22	23,7	24,6	25,0	25,2	24,0	23,3	22,0	22,5

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.12. Estações meteorológicas – Temperatura média (°C) (continuação)

ESTAÇÃO: CHÃO BOM													
Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	23,0	21,5	23,0	22,9	23,1	23,8	25,0	26,5	26,9	26,8	25,7	24,4	24,4
1982	22,9	21,9	22,4	22,9	23,7	24,4	25,0	25,8	26,4	26,3	24,9	23,4	24,2
1983	22,6	21,9	22,7	23,0	23,3	24,0	24,6	25,1	26,5	26,7	25,7	23,5	24,1
1984	21,8	22,0	21,1	21,9	23,2	24,2	25,6	26,6	26,4	26,2	25,1	23,2	23,9
1985	22,0	22,1	21,6	22,2	22,6	24,3	25,8	26,6	27,3	27,1	25,7	23,5	24,2
1986	21,4	20,7	21,0	22,1	23,2	23,8	24,9	26,7	27,1	26,2	25,1	23,1	23,8
1987	22,4	22,3	23,6	24,7	24,8	25,5	25,9	26,8	27,5	26,5	26,1	25,1	25,1
1988	22,3	21,9	22,8	23,5	24,1	24,8	26,1	26,4	27,2	26,8	25,2	23,4	24,5
1989	22,1	22,0	21,9	22,0	23,6	25,2	26,4	26,9	27,3	27,1	**	**	24,5*
1990	22,4	23,2	**	23,2	24,0	24,3	25,9	27,3	27,3	27,4	25,7	23,9	25,0*
1991	22,8	22,4	22,2	22,8	23,3	24,4	25,3	**	**	27,1	26,5	24,8	24,2*
1992	23,8	23,5	23,7	23,5	24,4	24,9	24,3	26,9	27,4	26,9	25,6	23,9	24,9
1993	22,6	22,7	23,2	22,9	24,2	25,1	25,6	26,9	**	26,4	25,0	24,9	24,5*
1994	22,2	23,0	21,9	23,5	24,4	25,3	25,1	26,6	26,8	27,1	26,8	**	24,8*
1995	24,0	23,5	23,4	24,2	25,7	26,5	26,6	26,9	27,8	27,7	27,4	26,3	25,8
1996	26,3	**	**	25,9	**	26,2	26,6	**	27,6	27,5	**	25,4	26,5*
1997	**	25,8	26,1	25,9	26,4	26,3	26,2	26,7	26,7	27,0	27,0	26,5	26,4*
1998	26,4	**	**	25,2	24,7	25,2	26,7	27,1	27,9	27,8	27,2	24,9	26,3*
1999	23,3	23,3	22,7	23,9	23,6	24,4	24,8	25,6	24,1	25,3	26,3	25,6	24,4
2000	24,5	23,6	24,7	25,6	25,3	25,6	26,3	26,7	27,1	26,8	26,4	25,6	25,7
2001	24,4	24,7	25,8	24,9	24,4	25,3	26,1	26,3	26,4	27,7	26,9	26,3	25,8

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.13. Estações meteorológicas – Humidade relativa média (%)

ESTAÇÃO: PRAIA AEROPORTO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1982	61	61	64	64	62	66	70	73	76	75	68	65	67
1983	60	50	55	59	61	63	71	**	71	68	69	67	63*
1984	68	48	63	62	62	63	70	70	70	68	72	68	65
1986	65	64	62	66	65	69	72	72	78	74	66	69	68
1987	68	63	52	60	59	67	68	76	76	77	68	67	67
1988	67	75	56	64	66	70	78	80	81	68	70	68	70
1989	63	64	63	65	61	63	72	76	74	71	**	65	67*
1990	67	53	55	64	63	68	74	78	77	72	68	64	67
1991	65	64	62	63	64	62	70	73	74	64	66	76	67
1992	61	67	60	**	60	65	72	71	73	**	**	68	66*
1993	68	59	64	65	62	69	75	76	77	73	67	**	69*
1994	62	52	64	61	**	**	**	76	73	70	64	69	66*
1995	64	60	66	65	64	65	75	81	77	71	72	72	69
1996	66	68	64	60	63	65	71	79	75	73	68	**	68*
1997	65	52	56	65	67	66	69	76	80	70	70	71	67
1998	68	59	56	72	66	**	74	**	**	**	**	**	66*
1999	**	63	62	61	**	63	75	77	81	77	67	65	69*
2000	67	57	58	63	67	69	71	77	76	**	69	68	67*
2001	68	59	54	55	65	70	74	76	77	71	67	72	67
2002	65	63	66	68	67	69	72	76	78	77	73	73	71
2003	70	69	61	59	68	73	75	77	78	78	69	76	71
2004	72	70	67	71	72	70	73	79	79	72	74	73	73
2005	66	66	63	64	65	67	72	72	76	72	81	72	70

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1987	**	**	**	**	**	**	81	**	90	90	87	85	87*
1988	84	90	64	78	77	81	85	92	90	83	86	84	83
1989	76	77	78	82	74	69	83	88	88	86	84	80	80
1990	82	60	59	73	72	79	81	85	88	85	82	72	76
1991	75	75	76	71	76	79	80	84	86	84	73	82	78
1992	72	80	70	73	73	74	83	86	89	87	75	81	78
1993	77	74	77	79	72	79	83	86	87	85	82	78	80
1994	71	63	75	70	77	77	79	85	85	82	74	76	76
1995	73	66	77	75	72	73	85	88	88	80	74	81	78
1996	71	80	73	68	70	72	78	84	83	76	75	72	75
1997	71	57	56	70	75	74	81	84	87	80	78	74	74
1998	71	55	60	76	77	73	78	83	86	77	73	76	74
2000	**	71	61	76	82	80	83	88	88	89	84	83	80*
2001	84	64	61	70	76	79	81	87	86	83	81	85	78

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.14. Estações meteorológicas – Humidade relativa média (%) (continuação)

ESTAÇÃO: S. FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	66	66	62	69	66	65	72	75	75	73	72	68	69
1982	63	67	66	64	68	70	74	76	76	73	69	68	69
1983	66	51	61	64	68	68	72	74	73	71	69	69	67
1984	70	50	65	67	71	71	75	81	84	75	70	73	71
1985	71	75	69	74	72	78	83	78	78	80	73	67	75
1986	68	68	64	69	70	75	79	80	83	83	76	75	74
1987	71	74	66	68	64	72	77	83	84	84	76	72	74
1988	74	81	63	72	72	76	81	85	86	77	78	74	77
1989	70	73	73	75	70	73	80	83	83	78	76	**	76*
1990	**	63	67	73	71	76	80	82	81	82	79	75	75*
1991	76	65	74	79	76	78	80	81	81	80	74	77	77
1992	74	78	71	72	72	73	77	77	**	78	74	76	75*
1993	78	77	76	78	78	79	82	82	81	81	81	81	79
1994	82	81	79	77	75	75	77	78	77	76	79	83	78
1995	84	84	80	76	75	76	78	80	79	76	77	80	79
1996	78	79	78	77	76	**	77	78	77	75	77	78	77*
1997	78	75	72	72	75	73	76	75	77	76	77	77	75
1998	79	76	76	77	77	76	76	76	76	74	75	77	76
1999	79	78	77	73	72	72	77	76	78	77	77	78	76
2000	78	76	72	75	78	75	75	75	73	77	77	78	76
2001	79	78	71	70	73	71	74	73	75	74	72	76	74

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: S. JORGE DOS ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	90	86	87	90	89	90	92	91	92	91	90	90	90
1982	84	89	85	84	87	84	80	82	82	83	72	73	82
1983	65	58	62	67	65	68	82	83	84	74	74	77	72
1984	72	49	74	75	70	71	80	81	82	77	81	83	75
1985	80	74	72	75	76	73	84	86	86	75	74	70	77
1986	67	71	68	67	69	73	79	79	87	88	80	76	75
1987	72	75	55	65	63	70	76	83	86	86	79	74	74
1988	75	77	61	69	71	75	79	87	87	81	84	80	77
1989	68	71	70	71	67	65	77	81	84	80	79	75	74
1990	77	58	60	71	67	74	87	83	87	84	80	73	75
1991	73	70	72	69	71	73	77	81	82	84	80	81	76
1992	71	77	64	65	65	65	77	81	85	83	71	75	73
1993	75	71	73	73	64	75	79	82	84	83	81	73	76
1994	67	54	72	69	71	70	77	80	82	79	69	72	72
1995	66	64	72	72	70	71	80	82	83	77	70	79	74
1996	72	77	71	62	68	70	77	81	81	73	71	71	73
1997	67	55	56	64	68	66	73	78	80	74	74	70	69
1998	70	59	62	73	73	71	77	79	85	78	72	73	73
1999	71	69	69	63	62	68	82	85	88	87	81	76	75
2000	75	64	55	69	75	75	78	84	86	86	79	76	75
2001	72	57	61	68	70	72	80	85	86	80	80	82	74
2002	74	67	67	70	72	73	77	80	85	81	78	74	75
2003	72	74	60	64	70	75	**	**	85	87	83	77	75*
2004	76	71	69	74	69	70	80	84	87	82	82	80	77

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.15. Estações meteorológicas – Humidade relativa média (%) (continuação)

ESTAÇÃO: CHÃO BOM													
Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	**	79	74	70	72	72	75	76	83	79	77	78	76*
1982	76	73	78	76	76	86	87	86	85	88	76	81	81
1983	83	76	94	98	99	98	99	**	78	79	76	75	87*
1984	72	69	74	77	77	82	90	84	89	89	88	86	81
1985	86	74	74	71	75	77	81	80	79	74	72	68	76
1986	66	75	75	74	74	74	75	76	83	81	71	73	75
1987	74	74	72	75	81	82	77	82	85	83	78	76	78
1988	73	83	78	75	79	79	80	84	85	82	81	85	80
1989	77	76	74	75	77	78	77	80	82	78	**	**	77*
1990	69	74	**	76	80	80	78	77	80	81	80	77	77*
1991	77	75	76	78	79	78	79	**	**	81	78	80	78*
1992	75	77	76	75	76	78	78	79	80	79	81	84	78
1993	86	81	83	83	85	81	82	80	**	84	**	83	83*
1994	81	78	79	78	77	82	84	82	82	81	82	**	80*
1995	77	75	80	82	79	79	82	80	78	77	75	79	79
1996	77	**	**	75	78	79	78	83	76	77	76	80	78*
1997	**	80	75	78	76	75	74	74	73	72	75	76	75*
1998	77	**	**	82	80	78	77	76	79	76	75	81	78*
1999	81	80	79	80	79	80	81	80	79	81	77	80	80
2000	81	84	81	78	80	79	76	77	78	77	78	80	79
2001	83	82	78	80	82	81	78	78	79	73	77	79	79

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.16. Estações meteorológicas – Insolação média (horas)

ESTAÇÃO: PRAIA AEROPORTO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1973	7,8	6,9	9,1	9,5	9,4	8,4	6,7	5,4	8,3	7,7	7,6	7,2	7,8
1974	7,7	9,1	9,4	10,4	10,1	8,9	**	6,0	7,5	7,9	6,2	2,7	7,8*
1975	3,4	8,2	8,6	8,9	9,7	9,1	**	5,8	6,3	7,8	6,7	6,4	7,4*
1976	5,2	7,6	7,2	8,5	9,5	8,0	**	7,0	6,5	6,9	7,5	4,4	7,1*
1977	7,2	7,6	6,9	9,6	9,2	9,8	7,8	6,2	8,6	7,6	8,3	6,0	7,9
1978	6,5	9,7	7,8	9,8	8,8	5,2	5,5	4,4	7,2	8,4	7,7	7,3	7,4
1979	7,5	10,0	8,0	9,4	9,9	8,6	7,2	7,6	7,9	5,9	**	**	8,2*
1980	8,6	8,8	8,7	**	10,0	9,1	7,0	7,3	7,1	7,9	8,0	6,0	8,0*
1981	7,0	6,3	9,7	8,8	9,4	9,3	6,1	7,2	7,0	7,2	7,1	6,3	7,6
1983	4,6	9,1	7,3	8,8	8,4	8,1	7,6	**	7,1	7,4	7,2	6,5	7,5*
1984	6,1	7,0	8,0	9,4	8,9	8,4	7,5	7,5	6,6	7,2	6,8	6,0	7,4
1985	8,0	7,9	7,0	8,9	9,9	7,5	5,3	6,2	6,6	7,3	8,0	4,6	7,3
1986	4,0	7,9	8,9	8,9	9,7	9,6	7,2	6,7	6,1	6,5	5,2	4,4	7,1
1987	8,0	9,5	9,1	8,4	7,8	8,6	7,6	6,8	6,8	6,1	6,4	7,9	7,8
1988	6,7	5,7	7,6	10,1	9,6	9,1	5,7	5,6	5,9	**	**	5,7	7,2*
1989	6,6	6,2	8,5	9,7	9,9	8,6	6,2	5,6	6,7	5,6	6,7	8,2	7,4
1990	4,0	7,2	6,8	8,6	10,0	8,4	7,0	7,3	7,0	6,9	6,3	6,5	7,2
1991	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
1992	7,2	7,0	7,5	7,3	8,4	7,1	6,1	7,2	5,9	6,7	5,3	7,0	6,9
1993	4,3	7,7	8,1	8,6	8,4	9,1	6,4	6,1	6,7	7,2	5,8	6,3	7,1
1994	6,2	8,3	8,1	8,7	9,0	8,6	7,6	6,3	5,9	7,6	7,6	5,9	7,5
1995	6,7	7,7	8,1	9,4	10,4	9,5	5,6	6,2	7,0	7,7	7,1	6,7	7,7
1996	8,5	6,1	7,1	9,1	10,1	9,0	7,4	6,3	6,6	7,9	6,7	7,9	7,7
1997	5,3	5,1	5,7	9,7	8,5	7,4	7,4	6,6	7,2	8,4	7,0	7,8	7,2
1998	6,1	9,2	6,7	8,2	8,8	7,5	6,5	6,7	**	**	7,3	4,9	7,2*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1987	**	**	**	**	**	**	**	**	6,0	4,7	6,6	7,1	6,1*
1988	5,7	5,1	8	9,6	8,3	6,6	**	3,4	5,0	7,0	5,5	5,0	6,3*
1989	6,5	3,9	8,5	7,7	9,1	8,3	6,1	5,2	6,0	6,6	6,5	8,0	6,9
1990	4,2	8,5	7,3	8,0	9,2	7,5	6,5	6,4	5,5	7,0	6,6	7,5	7,0
1991	6,4	8,2	8,9	9,8	9,2	8,4	5,8	5,1	6,4	7,7	7,2	4,4	7,3
1992	8,4	6,8	8,6	7,8	7,8	8,3	5,9	6,1	5,8	3,7	7,1	7,2	7,0
1993	4,7	7,8	**	**	8,3	8,7	5,6	4,8	5,6	7,3	5,3	5	6,3*
1994	6,9	9,2	**	**	7,6	8,6	6,5	5,3	5,6	7,4	8,0	4,2	6,9*
1995	7,6	9,0	8,4	9,0	9,8	8,9	**	**	**	7,8	7,8	3,6	8,0*
1996	8,1	7,7	**	9,2	9,1	8,9	7,6	5,3	6,8	7,7	7,2	4,9	7,5*
1997	5,7	7,0	8,3	9,8	8,1	7,8	5,9	5,8	5,8	7,5	7,2	5	7,0
1998	7,1	10,3	9,8	**	7,8	**	**	**	**	**	7,9	2,8	7,6*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.17. Estações meteorológicas – Insolação média (horas) (continuação)

ESTAÇÃO: S. FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	7,1	6,8	9,3	8,4	9,0	9,7	6,2	7,2	6,5	7,5	7,7	6,4	7,7
1982	7,9	7,8	7,9	8,7	8,3	8,8	7,0	5,1	6,8	5,9	6,3	4,2	7,1
1983	5,2	9,2	7,3	8,1	7,4	8,3	7,0	6,3	7,5	6,5	6,8	5,8	7,1
1984	5,4	5,9	7,6	8,6	8,3	7,8	7,0	6,8	5,7	6,8	6,1	6,1	6,8
1985	7,3	7,6	6,3	8,1	9,2	7,3	4,7	5,6	6,0	7,3	7,4	3,6	6,7
1986	3,3	7,9	8,3	8,6	9,1	9,0	6,2	6,0	5,7	5,8	4,9	4,3	6,6
1987	7,5	8,8	8,4	6,8	6,1	**	7,5	5,9	6,4	6,1	7,1	7,2	7,1*
1988	6,1	5,4	6,9	9,6	9,0	8,3	6,2	5,0	6,5	7,7	6,4	6,3	7,0
1989	6,7	6,2	6,7	9,1	9,5	8,6	7,0	6,6	7,2	7,3	7,3	8,6	7,6
1990	5,0	7,8	7,5	8,7	10,0	6,8	6,7	7,4	8,2	7,7	7,1	7,3	7,5
1991	6,1	8,4	9,0	9,8	9,9	6,4	6,1	5,3	6,9	8,0	8,0	5,8	7,5
1992	7,5	7,6	8,4	8,2	8,6	6,7	5,3	7,0	7,6	7,4	6,7	7,6	7,4
1993	5,4	8,4	8,8	9,4	9,0	9,8	6,9	6,7	7,9	7,9	6,7	7,1	7,8
1994	6,2	7,9	8,4	8,5	8,7	**	**	6,8	7,2	8,0	8,1	6,2	7,6*
1995	6,7	8,9	8,5	9,6	10,7	10,0	**	**	7,0	8,4	**	6,7	8,5*
1996	8,2	8,1	7,7	9,9	10,4	**	7,7	6,5	7,5	8,6	7,4	5,9	8,0*
1997	6,0	6,1	7,3	10,1	8,2	6,2	7,3	6,8	7,5	8,4	7,5	5,8	7,3
1998	5,8	9,7	6,6	8,4	8,9	8,4	6,7	6,6	5,8	9,1	7,6	4,3	7,3

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis
 Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: S. JORGE DOS ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	**	5,8	**	**	**	8,3	4,3	4,9	4,0	6,5	6,9	5,8	5,8*
1982	6,7	**	6,6	7,4	6,9	8,2	6,0	2,8	4,0	4,8	5,8	3,6	5,7*
1983	4,7	8,4	6,5	6,4	7,3	7,3	6,8	4,6	5,9	6,9	6,3	4,6	6,3
1984	4,9	5,7	7,0	7,7	7,6	7,0	5,7	4,5	4,5	6,2	4,7	4,1	5,8
1985	4,4	6,0	5,3	6,3	7,5	6,4	3,6	4,3	5,5	7,8	7,1	4,1	5,7
1986	3,6	7,1	7,9	8,9	9,3	9,3	6,2	5,3	4,2	4,8	4,3	3,8	6,2
1987	6,7	8,8	8,5	7,5	7,4	8,4	6,9	5,4	4,9	4,0	6,2	5,9	6,7
1988	5,0	5,3	6,9	8,8	8,3	8,0	4,7	3,1	4,4	6,3	4,3	4,9	5,8
1989	6,0	5,2	7,9	7,8	9,3	8,9	5,6	5,1	5,2	5,6	4,5	7,0	6,5
1990	2,9	8,0	7,0	6,1	9,1	8,1	6,1	5,8	4,6	6,6	5,1	5,8	6,3
1991	4,9	6,8	7,4	8,7	8,9	8,9	5,9	4,0	5,2	6,6	6,3	3,6	6,4
1992	6,4	5,0	7,1	6,7	8,0	8,7	5,5	5,0	4,7	6,0	6,1	5,3	6,2
1993	4,3	6,4	7,4	8,2	9,0	9,2	5,6	4,9	4,9	6,3	2,9	6,5	6,3
1994	5,4	8,3	7,6	9,1	7,4	9,0	5,9	4,9	5,0	5,9	6,8	5,5	6,7
1995	6,2	8,1	6,9	7,5	9,9	9,5	3,9	5,1	3,7	6,9	6,7	4,3	6,6
1996	6,4	5,8	6,6	8,7	8,9	8,6	6,9	4,5	4,9	7,4	6,6	5,6	6,7
1997	5,0	6,5	6,4	8,7	8,1	8,2	6,5	5,1	4,8	6,9	6,5	7,4	6,7
1998	6,0	9,4	6,7	7,2	8,7	8,6	6,6	5,1	3,8	7,9	7,4	5,1	6,9
1999	5,5	8,4	8,6	9,3	10,3	9,4	4,2	4,4	4,2	5,1	5,2	5,3	6,7
2000	6,2	6,6	8,6	8,2	8,0	8,7	6,1	4,5	4,7	4,0	6,7	6,6	6,6
2001	8,5	7,3	7,9	8,7	9,6	8,8	6,1	4,5	4,5	7,2	6,0	5,9	7,1

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis
 Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.18. Estações meteorológicas – Insolação média (horas) (continuação)

ESTAÇÃO: CHÃO BOM

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	6,6	6,6	9,5	8	7,2	8	4,8	5,4	5,8	6,2	5,7	6,6	6,7
1982	7,5	7	7,5	8,1	5,8	5,8	5	3,5	5,1	4,6	6,4	4,1	5,9
1983	3,5	8,7	6,8	7,3	5,2	3,4	2,8	4,6	6,3	6,8	6,4	5,5	5,6
1984	5,4	**	8	7,6	7,5	6,6	5,5	5,7	5,4	5,7	5,8	4,9	6,2*
1985	7,2	6,7	5,6	7,5	7,1	5,4	4,3	5,5	5,8	6,6	7,2	3,6	6
1986	3,2	7,1	7,3	3	3,6	3,6	5,8	3,7	5,4	5,7	5,3	3,9	4,8
1987	7	9,1	9,5	6,8	5,8	7,7	5,9	6,3	6,1	6	6,7	7,1	7
1988	5,7	5,1	7,8	9,2	8,1	7,5	5,1	5	6,1	7,8	6,3	5,3	6,6
1989	6,2	5,3	8	8,1	9	7,9	6,4	7,4	6,9	7,2	**	**	7,2*
1990	4,7	8,1	**	8,6	8,0	7,4	6,1	7,1	6,6	6,5	7	7,3	7,0*
1991	6,2	7,5	9,1	9,7	8,5	7,8	5,2	**	**	7,9	7,3	5,3	7,5*
1992	7,3	7,5	7,3	7,6	6,9	7,5	5,2	6,6	6,7	6,8	6,5	7,1	6,9
1993	4,9	6,8	**	**	7,6	8,1	6	5,8	**	7,6	6,6	6,3	6,6*
1994	6,1	7,8	7,9	8	7,3	**	**	6,6	6,4	7,9	7,8	6,3	7,2*
1995	5,5	7,6	8,1	**	8,5	**	**	**	**	**	**	**	7,4*
1996	**	**	**	9,2	**	**	**	5,4	6,2	6,2	7,1	7,5	6,9*
1997	**	4	**	7,7	4,6	3,3	5,2	5,3	**	**	5,8	1,8	4,7*
1998	**	**	**	9,3	8,5	**	**	**	**	10,8	5,6	4,9	7,8*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis
 Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.19. Estações meteorológicas – Vento média a 2 m (m/s)

ESTAÇÃO: PRAIA AEROPORTO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	7,2	8,2	7,4	8,7	**	6,4	**	**	**	**	5,9	11,1	7,8*
1982	**	**	7,0	7,6	7,8	**	**	**	**	**	**	8,0	7,6*
1983	2,8	1,4	8,5	7,7	8,5	6,5	3,3	**	2,8	3,3	6,3	2,9	4,9*
1984	9,6	8,0	7,6	7,8	8,9	6,7	4,6	5,9	6,1	6,8	7,3	7,5	7,2
1986	9,7	7,4	9,4	8,5	6,8	7,0	3,7	4,9	4,5	6,2	7,5	8,0	7,0
1987	6,8	7,6	6,3	7,2	7,8	5,5	5,9	5,1	5,0	6,5	5,9	7,8	6,4
1988	8,4	6,7	5,7	7,6	7,5	6,8	4,7	4,6	4,7	8,1	7,0	7,2	6,6
1989	8,6	8,3	8,1	8,3	7,6	6,3	4,7	4,1	6,1	8,0	**	**	7,0*
1990	10,8	7,7	7,4	8,5	7,8	6,1	4,6	3,6	5,4	6,5	6,6	8,6	7,0
1991	6,5	8,3	7,9	6,7	6,3	6,0	5,1	4,0	6,0	5,9	7,2	6,2	6,3
1992	6,3	9,2	7,6	**	7,7	7,7	5,1	5,5	6,4	**	**	7,2	7,0*
1993	7,2	7,5	7,3	6,3	1,8	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	2,7
1994	1,7	2,6	2,5	1,2	**	**	**	4,0	4,5	5,8	6,3	6,5	3,9*
1995	7,0	7,1	6,5	6,5	5,8	5,6	4,6	**	**	4,5	**	4,9	5,8*
1996	6,0	2,4	5,5	**	**	**	4,5	**	**	**	**	**	4,6*
1997	6,3	3,5	3,6	3,1	3,5	3,3	3,1	2,3	**	**	**	**	3,6*
1999	6,9	7,3	7,1	5,3	**	4,7	4,0	3,2	3,4	4,2	4,0	5,6	5,1*
2001	5,9	**	**	**	5,1	4,3	3,9	3,6	4,3	4,2	4,7	4,7	4,5*
2002	5,8	6,3	6,4	6,3	5,8	5,1	4,3	4,4	4,4	4,7	6,1	5,5	5,4

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1987	**	**	**	**	**	**	**	**	2,0	2,6	**	3,9	2,8*
1988	**	4,1	3,2	4,2	3,0	1,7	0,3	0,5	0,7	**	**	1,5	2,1*
1989	**	1,8	1,4	2,6	**	**	**	**	**	1,0	1,0	1,7	1,6*
1990	4,9	1,8	1,3	2,5	**	2,1	1,5	1,3	1,3	1,2	1,0	2,5	1,9*
1991	2,4	3,4	3,4	2,8	2,8	2,8	1,7	1,3	2,0	1,9	1,7	2,3	2,4
1992	1,8	3,8	3,1	2,9	2,7	2,6	1,1	1,7	1,9	2,4	2,1	2,9	2,4
1993	3,7	3,3	**	2,7	3,9	2,8	**	2,4	2,9	2,3	3,6	3,8	3,1*
1994	4,7	3,8	3,4	3,4	3,7	3,5	1,7	2,1	1,8	2,6	2,2	2,7	3,0
1995	3,0	3,4	2,4	2,7	1,7	1,6	1,4	1,6	0,9	1,2	0,7	1,4	1,8
1996	2,1	2,4	2,2	2,2	2,8	1,9	1,0	1,2	**	1,8	2,2	**	2,0*
1997	**	2,9	2,3	**	2,5	2,4	1,6	1,2	2,5	2,1	1,9	2,7	2,2*
1998	2,3	2,5	2,1	3,4	3,0	2,4	1,2	2,0	2,5	2,5	2,2	3,5	2,5

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.20. Estações meteorológicas – Vento média a 2 m (m/s) (continuação)

ESTAÇÃO: S. FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	**	**	**	**	**	**	**	3,3	**	5,3	4,1	5,0	4,4*
1982	4,5	6,1	5,4	4,3	**	4,1	3,1	**	**	5,0	3,5	3,5	4,4*
1983	5,0	3,9	5,5	4,0	**	3,6	3,0	**	**	2,5	3,0	3,2	3,7*
1984	5,9	4,3	3,7	3,7	4,6	3,2	2,4	3,2	3,3	3,3	3,6	3,7	3,7
1985	5,5	4,6	3,6	4,5	3,7	3,0	2,5	3,0	3,3	3,1	3,2	4,1	3,7
1986	5,6	3,6	3,5	4,5	3,4	3,8	2,1	2,6	2,0	3,2	1,8	3,5	3,3
1987	2,8	3,5	2,7	3,5	3,3	2,5	1,9	1,5	2,5	2,3	1,6	2,5	2,6
1988	3,6	2,6	2,5	2,9	3,4	2,9	1,8	1,7	2,2	2,6	2,3	2,3	2,6
1989	2,9	3,3	2,9	2,8	3,5	3,0	1,5	1,5	1,8	2,5	2,4	3,0	2,6
1990	3,5	3,2	3,0	3,0	3,6	3,1	1,6	1,2	1,6	2,0	2,0	2,6	2,5
1991	2,8	3,8	3,7	3,2	3,1	3,1	2,1	1,5	2,0	2,3	2,3	2,0	2,7
1992	1,8	3,1	3,2	3,8	4,1	3,9	2,1	2,1	2,4	3,2	2,8	3,0	3,0
1993	2,8	3,2	3,8	3,6	4,8	3,3	2,5	2,1	2,8	2,6	3,0	3,3	3,2
1994	4,1	4,5	4,3	3,9	3,6	3,9	2,2	2,3	2,1	2,9	3,6	2,9	3,4
1995	3,5	4,6	3,5	3,3	3,4	2,9	2,4	2,0	1,8	2,1	2,4	2,1	2,8
1996	2,8	2,9	2,9	3,3	3,3	2,6	2,0	1,7	1,9	2,6	2,8	3,0	2,7*
1997	2,9	3,9	3,2	2,9	3,7	3,1	3,0	2,2	2,0	2,8	2,4	2,6	2,9
1998	2,6	2,9	3,0	3,7	3,1	3,1	2,0	1,8	2,0	2,6	2,4	2,6	2,7
1999	3,2	3,3	3,8	3,6	3,9	3,4	2,3	1,9	2,0	2,2	2,2	3,1	2,9
2000	3,4	4,1	3,5	5,0	3,7	2,9	2,6	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,2
2001	3,6	3,5	4,1	4,1	3,6	3,2	2,5	2,0	2,5	2,5	1,7	1,8	2,9

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: S. JORGE DOS ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	**	**	**	**	1,1	1,1	1,1	1,2	1,0	1,0	1,2	1,2	1,1*
1982	1,1	1,4	1,1	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	1,4	1,2
1983	1,1	1,2	1,3	1,5	1,3	1,2	1,4	1,2	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2
1984	1,3	1,2	1,5	1,5	1,4	1,2	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0	0,9	1,1
1985	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
1986	1,4	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	0,9	0,8	1,3	1,1	1,2
1987	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	0,8	0,8	0,9	1,3	1,1
1988	1,4	1,0	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	0,8	0,7	1,0	0,8	1,0	1,1
1989	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	0,9	1,0	1,0	1,4	1,2
1990	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0	0,8	0,9	1,1	1,6	1,2
1991	1,1	1,4	1,5	1,5	1,5	1,3	1,7	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,3
1992	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
1993	1,1	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	1,2
1994	1,6	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
1995	1,2	1,4	1,5	1,6	1,4	1,4	1,2	1,2	0,7	1,0	1,1	1,0	1,2
1996	1,2	1,2	1,7	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	0,8	1,0	1,1	1,2	1,2
1997	1,1	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	0,7	1,0	1,1	1,3	1,2
1998	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,3	1,3	1,1	1,0	0,9	1,1	1,4	1,2
1999	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	0,9	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2
2000	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,3	1,3	1,0	0,8	0,6	1,0	1,1	1,1
2001	1,2	1,1	1,3	1,4	1,4	1,3	1,1	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	1,1
2002	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	0,9	0,9	1,1	1,2	1,3
2003	1,7	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	**	**	0,8	0,7	0,8	1,0	1,2*
2004	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,1

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.21. Estações meteorológicas – Vento média a 2 m (m/s) (continuação)

ESTAÇÃO: CHÃO BOM													
Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
1981	**	5,4	5,9	6,6	6,2	5,7	4,3	**	**	5,0	4,9	5,7	5,5*
1982	5,1	**	4,9	5,1	5,7	4,8	3,9	3,9	4,3	4,3	4,5	5,7	4,7*
1983	5,2	4,7	4,7	4,5	**	3,9	3,4	3,3	3,7	3,4	3,7	2,5	3,9*
1984	6,4	5,9	5,1	**	**	5,2	3,3	4,2	4,0	4,4	**	5,4	4,9*
1985	5,8	6,2	6,2	**	**	5,2	**	**	**	4,4	5,0	5,7	5,5*
1986	7,1	5,8	6,7	4,7	**	4,1	3,9	2,8	2,7	2,7	3,5	3,7	4,3*
1987	3,2	3,6	3,3	3,2	3,6	**	3,1	2,5	2,2	2,6	2,7	3,1	3,0*
1988	**	3,3	3,1	3,5	3,5	3,1	2,1	2,1	2,0	2,2	2,2	2,9	2,8*
1989	3,4	3,2	3,2	3,8	3,7	**	2,2	2,1	2,1	2,2	**	**	2,9*
1990	4,1	**	**	3,7	**	**	2,1	1,9	2,1	**	2,7	3,2	2,8*
1991	**	3,6	3,6	3,4	3,5	3,2	2,2	1,9	2,1	2,2	2,7	2,6	2,8*
1992	2,3	3,2	3,4	3,6	3,3	3,4	2,4	1,6	2,1	2,6	2,6	2,9	2,8
1993	3,0	3,1	2,8	3,3	3,5	2,8	2,3	1,9	**	2,2	3,0	3,0	2,8*
1994	3,5	3,2	3,4	3,2	3,1	2,9	2,1	**	2,2	2,6	2,9	**	2,9*
1995	3,6	3,8	3,4	3,6	3,5	3,1	2,4	2,2	2,1	2,1	2,4	2,5	2,9
1996	2,8	**	**	3,2	**	2,9	2,3	**	2,4	2,7	**	3,5	2,8*
1997	**	3,1	2,8	2,7	3,0	2,8	2,4	1,9	1,9	2,4	2,3	1,9	2,5*
1998	2,1	**	**	3,0	3,1	2,6	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	3,0	2,4*
1999	2,8	3,4	3,3	3,1	2,9	2,4	2,0	1,5	1,4	1,6	1,3	1,9	2,3
2000	1,9	1,6	1,6	2,0	1,9	1,4	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4
2001	1,7	1,9	2,5	2,8	2,7	2,1	1,6	1,2	1,6	1,9	1,9	1,9	2,0

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.22. Estações meteorológicas – Evaporação do Piche total (mm)

ESTAÇÃO: ASSOMADA

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Total
1987	**	**	**	**	**	**	90,9	**	42,0	33,4	81,2	78,8	326,3*
1988	87,3	64,0	69,1	63,0	112,5	76,9	**	39,3	29,3	67,7	55,1	64,6	728,8*
1989	64,8	60,6	99,2	82,9	56,6	103,9	61,9	66,6	48,4	61,5	71,3	82,7	860,4
1990	82,4	93,6	81,7	102,3	141,3	91,8	72,8	68,1	41,5	62,3	76,5	140,8	1055,1
1991	104,6	103,7	119,7	146,4	128,1	125,9	100,4	80,7	72,4	81,5	125,9	89,9	1279,2
1992	126,5	81,5	141,5	121,6	107,3	125,8	82,2	59,8	40,6	48,8	99,3	74,1	1109,0
1993	81,5	96,2	102,5	92,8	123,3	85,1	53,6	44,3	36,8	47,5	51,4	82,0	897,0
1994	120,0	129,3	88,3	113,8	92,0	94,1	67,3	49,1	49,6	59,2	91,5	87,1	1041,3
1995	118,7	125,2	81,6	87,8	120,9	101,9	48,4	35,1	28,2	57,8	87,2	66,0	958,8
1996	106,1	73,1	106,6	138,3	130,0	110,2	76,2	54,2	63,6	86,1	93,1	95,6	1133,1
1997	111,4	151,5	174,2	110,4	97,7	96,3	68,5	56,8	39,8	69,2	75,2	86,4	1137,4
1998	80,3	116,8	171,9	86,2	88,3	98,7	**	64,7	42,4	76,8	96,0	82,8	1004,9*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: S. FRANCISCO

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Total
1981	120,2	161,3	221,0	252,1	277,9	**	92,7	91,6	77,8	146,1	111,1	131,6	1683,4*
1982	123,4	219,0	139,1	260,4	256,3	261,9	89,9	76,1	111,2	116,6	104,2	150,5	1908,6
1983	157,6	123,0	177,6	141,8	185,2	247,7	89,1	195,4	224,8	200,8	205,5	178,6	2127,1
1984	167,9	171,6	236,7	257,0	258,8	232,9	215,7	152,1	118,0	146,7	147,3	111,0	2215,7
1985	128,0	138,7	135,9	112,3	143,5	153,5	136,1	169,4	125,5	129,1	191,8	209,1	1772,9
1986	102,4	179,1	223,4	151,3	186,8	168,6	123,1	137,5	100,3	134,8	145,3	114,4	1767,0
1987	195,8	137,9	139,8	183,6	181,8	**	142,4	87,1	91,4	106,3	148,8	181,2	1596,1*
1988	175,0	125,3	170,3	160,2	139,5	127,7	85,3	68,6	82,1	146,6	115,7	116,4	1512,7
1989	121,1	108,4	97,1	106,8	121,7	114,6	137,6	95,4	113,7	90,7	149,6	85,1	1341,8
1990	73,2	85,8	99,1	129,7	196,2	115,6	118,8	**	115,7	142,3	114,8	141,2	1332,4*
1991	150,6	148,9	150,7	192,2	146,5	169,1	130,0	111,5	100,3	159,8	106,7	141,1	1707,4
1992	**	144,3	153,1	156,3	219,3	126,9	111,8	120,6	104,1	122,4	131,0	134,3	1524,1*
1993	122,6	142,9	137,9	131,2	149,6	128,0	90,6	88,2	100,9	152,1	97,4	107,0	1448,4
1994	109,0	140,4	144,7	118,3	142,1	128,5	100,7	102,7	99,1	118,7	103,8	91,4	1399,4
1995	93,2	79,7	112,6	125,0	116,2	109,7	85,6	**	79,8	95,0	115,5	90,6	1102,9*
1996	138,0	107,8	137,4	167,2	321,1	**	104,5	85,1	95,4	100,4	109,5	116,0	1482,4*
1997	134,7	193,6	167,2	156,9	134,7	136,1	109,5	97,1	77,1	112,0	94,1	78,5	1491,5
1998	102,4	160,6	178,3	123,0	134,2	126,9	114,7	94,4	78,0	131,4	**	127,3	1371,2*
1999	131,4	102,9	144,1	174,2	171,7	150,1	94,6	87,3	73,5	91,9	100,3	139,0	1461,0
2000	147,9	158,7	179,2	158,2	159,0	133,2	125,9	106,1	86,4	92,4	93,4	118,3	1558,7
2001	116,6	155,5	181,4	141,4	136,7	**	110,5	115,3	111,3	152,4	124,6	102,9	1448,6*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

A.23. Estações meteorológicas – Evaporação do Piche total (mm) (continuação)

ESTAÇÃO: S. JORGE DOS ORGÃOS

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Total
1981	95,3	100,3	117,2	**	**	141,3	134,0	151,5	120,0	98,0	98,1	111,1	1166,8*
1982	133,7	**	130,9	141,7	118,5	139,2	134,5	87,2	101,6	115,6	139,0	112,5	1354,4*
1983	105,0	126,4	132,2	110,3	154,7	145,3	136,1	110,0	126,2	138,0	133,7	125,8	1543,7
1984	129,5	117,8	156,5	141,5	150,1	131,1	143,1	67,0	65,9	73,6	67,6	60,0	1303,7
1985	84,9	98,8	104,5	102,8	94,1	97,3	56,4	46,4	43,4	92,8	87,0	76,8	985,2
1986	73,0	77,1	89,5	104,6	105,6	82,2	64,0	56,0	32,1	38,0	61,6	67,3	851,0
1987	92,9	68,1	137,3	103,0	102,2	86,1	71,4	45,6	41,7	31,5	61,5	80,2	921,5
1988	69,6	40,7	117,7	102,3	97,2	63,9	57,5	36,1	40,2	77,9	45,8	55,7	804,6
1989	95,8	63,6	85,2	67,0	126,8	120,6	71,3	73,9	53,0	73,1	70,6	90,2	991,1
1990	83,7	136,6	133,2	84,4	100,2	82,1	60,1	74,7	40,5	58,6	67,0	74,0	995,1
1991	78,1	77,8	85,5	113,8	96,0	95,1	84,7	63,9	52,0	50,9	82,7	47,4	927,9
1992	71,1	55,7	108,3	91,7	111,0	103,1	59,3	56,7	36,5	30,6	84,8	76,2	885,0
1993	62,8	65,1	79,7	81,1	116,3	80,9	66,5	66,8	51,6	64,1	59,5	66,9	861,3
1994	89,0	114,8	95,9	104,5	101,5	96,4	69,4	63,5	69,1	75,7	95,8	80,0	1055,6
1995	69,3	104,5	74,7	73,2	112,9	101,8	68,4	64,5	35,9	80,0	80,1	60,4	925,7
1996	95,7	75,9	104,8	127,1	112,7	91,8	75,3	48,0	62,5	86,3	90,4	95,2	1065,7
1997	101,2	125,3	142,1	106,5	98,2	92,0	76,0	61,7	44,4	81,5	69,8	86,7	1085,4
1998	105,5	141,6	144,0	89,9	92,9	98,1	78,4	62,1	38,7	64,8	92,5	80,1	1088,6
1999	87,0	81,1	90,1	139,5	145,4	111,3	52,0	37,9	30,5	39,3	51,2	70,5	935,8
2000	74,8	103,3	163,0	102,8	88,0	88,8	73,2	47,1	35,1	27,9	62,4	72,4	938,8
2001	86,2	126,6	143,7	115,1	104,3	88,0	66,4	40,0	33,3	58,1	54,5	53,7	969,9
2002	77,5	96,5	111,7	100,7	107,8	87,1	73,4	60,4	50,0	66,2	64,9	84,9	981,1
2003	102,0	**	147,5	122,0	118,7	74,8	**	**	47,4	38,3	**	**	650,7*
2004	**	86,2	**	67,0	94,9	100,3	75,9	56,6	45,1	63,7	54,1	**	643,8*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

ESTAÇÃO: CHÃO BOM

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Total
1981	166,8	208,3	220,9	225,7	183,3	176,9	158,4	155,4	135,8	166,4	157,0	184,9	2139,8
1982	231,3	195,3	231,1	242,0	179,7	175,2	156,3	107,5	154,1	142,3	192,9	128,3	2136,0
1983	107,7	243,4	210,2	218,7	162,1	101,8	86,7	143,2	190,2	208,9	193,2	169,2	2035,3
1984	168,7	**	247,4	227,6	231,9	208,5	169,7	177,3	135,0	129,6	123,3	153,3	1972,3*
1985	131,1	182,5	125,6	98,0	120,2	129,8	128,6	115,7	120,7	163,8	174,7	191,6	1682,3
1986	187,1	131,5	227,7	91,5	111,2	108,3	126,0	113,9	82,0	91,3	128,0	92,3	1490,8
1987	111,9	138,3	127,3	89,9	117,6	88,5	107,7	79,5	72,4	87,2	110,8	129,7	1260,8
1988	126,1	80,2	94,6	106,4	50,2	91,9	97,3	75,3	61,3	88,7	79,0	70,9	1021,9
1989	102,8	99,9	106,0	88,8	120,2	116,3	108,3	102,5	87,2	108,4	**	**	1040,4*
1990	92,2	185,3	**	129,3	130,0	122,4	112,6	103,6	84,9	93,4	191,4	138,7	1383,8*
1991	127,3	133,2	142,3	124,6	136,0	112,6	109,3	**	**	108,1	117,4	105,9	1216,7*
1992	107,8	118,5	150,6	148,7	134,0	133,4	153,3	134,9	160,0	109,0	95,6	114,3	1560,1
1993	105,8	108,4	119,9	102,7	117,4	136,8	123,4	112,5	**	98,4	90,5	88,6	1204,4*
1994	90,6	85,9	107,4	106,5	115,4	109,2	116,5	116,7	104,8	114,7	126,3	112,8	1306,8
1995	118,4	116,8	138,1	122,1	132,9	135,8	127,2	132,7	127,2	120,5	**	**	1271,7*
1996	**	**	**	**	**	134,7	141,1	**	121,4	134,8	**	152,4	684,4*
1997	**	122,4	137,1	134,6	140,2	127,7	136,0	120,1	127,4	123,8	124,4	125,1	1418,8*
1998	118,8	**	**	112,7	133,2	126,8	102,8	**	109,5	**	111,2	**	815,0*
2000	110,1	104,4	117,7	113,6	118,5	122,9	114,8	111,6	**	111,3	103,2	117,5	1245,6*
2001	102,5	101,2	110,5	106,2	121,9	**	131,7	121,0	**	124,1	130,6	**	1049,7*

Legenda: (*) Dados parciais; (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

Anexo B

Inventário dos pontos de água

B.1. Inventário dos pontos de água

Ref. ISE	Mapa nº	Código	Tipo	Localidade	Unidade	Geologia	Alt (m)	UTM_X	UTM_Y
1	49	49-18	Nascente	Baía do Medronho	Base	CBm	53	206221	1695732
2	49	SST-15	Furo_Piez	Pedra Comprida	Intermédia	PA (Sub)	183	205449	1695819
3	49	SST-10	Furo	Cabeça do Leão	Intermédia	PA (Sub)	99	205774	1691454
4	48	SST-34	Furo_Piez	Achada Colonato	Intermédia	PA (Sub)	32	203837	1689969
5	48	FT-27	Furo_Piez	Ponte Ferro	Intermédia	PA (Lri)	32	204543	1688880
6	49	FT-29	Furo	Chão Bom	Intermédia	PA (Lri)	37	204957	1688592
7	49	SST-21	Furo	Achada Tomás	Intermédia	PA (Sub)	100	205629	1689536
8	49	SST-30	Furo	Achada Tomás	Intermédia	PA (Sub)	130	206147	1690190
9	49	49-16	Nascente	Angra	Intermédia	PA/CA	66	209936	1692486
10	49	SST-35	Furo_Piez	Achada Tomás	Intermédia	PA (Sub)	72	206208	1690124
11	49	SST-25	Furo_Piez	Achada Tomás	Intermédia	PA (Sub)	75	206836	1689894
12	49	SST-31	Furo_Piez	Achada Tomás	Intermédia	PA (Sub)	56	205861	1688885
13	50	FBE-150	Furo	Ribeira de Cuba	Intermédia	PA (Sub)	30	205638	1683789
14	50	FBE-151	Furo	Ribeira Prata	Intermédia	PA (Sub)	23	205547	1684329
15	49	49-22	Poço	Biscainhos	Recente	al	10	211759	1687402
16	51	51-91	Poço	Porto Formoso	Recente	al	8	213243	1686420
17	51	FBE-131	Furo	Mato Mendes	Intermédia	PA (Sub)	258	209375	1683948
18	51	FBE-113	Furo	Milho Branco	Intermédia	PA (Sub)	181	205629	1685884
19	54	FBE-161	Furo	Carriz Morto	Intermédia	A	524	211920	1670864
20	54	FBE-117	Furo	Bolanha	Intermédia	A	525	213564	1670058
21	51	FBE-112	Furo	Chã de Horta	Intermédia	PA (Sub)	176	211456	1682210
22	51	51-123	Nascente	Ribeira Principal	Intermédia	PA (Sub)	166	214239	1681476
23	51	51-119	Poço	Fundura Prença	Recente	al	112	214346	1682213
24	51	FBE-188	Furo	Hortelã	Intermédia	PA (Sub)	91	213634	1683606
25	51	51-273	Poço	Boca R. Principal	Recente	al	29	213873	1686514
26	51	51-201	Nascente	Machado	Intermédia	PA (Sub)	233	215226	1680642
27	52	52-29	Poço	Ponta Verde	Recente	al	34	219102	1681950
28	52	FT-62	Furo_Piez	Flam. Cabeça d'Horta	Base	λρ	36	220719	1679760
29	52	SP-12	Furo	Flamengos	Recente	al	38	220531	1679773
30	51	FT-5	Furo	Ribom Bedjo	Base	λρ	86	217553	1677782
31	52	FBE-145	Furo	Flamengos a Baixo	Base	λρ	65	218937	1678057
32	56	56-111	Poço	Castelinho	Recente	al	25	231766	1666546
33	56	56-44	Poço	Praia Baixo	Recente	al	11	232335	1665946
34	56	FT-40	Furo	Achada Baleia	Intermédia	PA (Sub)	17	234281	1663750
35	56	FT-42	Furo	Achada Baleia	Intermédia	PA (Sub)	37	233570	1662620
36	56	56-114	Poço	Moia Moia	Recente	al	14	236735	1660336
37	56	FT-44	Furo	Baía	Intermédia	PA (Sub)	22	235190	1662089
38	56	FT-208	Furo	Dobe	Base	λρ	59	234324	1661445
39	56	FBE-157	Furo	Portal	Intermédia	PA (Sub)	81	232578	1661869
40	54	FBE-97	Furo	Achada Igreja	Base	CA	330	216016	1668961
41	54	FBE-89	Furo	Pinha de Engenho	Base	CA	389	212460	1668668
42	54	FBE-95	Furo	João Bernardo	Intermédia	PA (Sub)	674	210707	1665676
43	54	54-436	Poço	Mato Sancho	Recente	al	157	206036	1671379
44	54	54-6	Nascente	Beco R. Sedeguma	Intermédia	A/CA	209	207866	1671247
45	54	FBE-116	Furo	Achada Galego	Intermédia	A	518	211322	1670220
46	54	54-128	Nascente	Caniço Boa Entrada	Intermédia	A/CA	418	212204	1671508
47	54	FBE-74	Furo	R. Boa Entrada Polom	Base	CA	356	212033	1672816
48	51	FBE-73	Furo	Achada Fora	Intermédia	A	508	208232	1677198
49	52	52-42	Nascente	Ribeira dos Picos	Intermédia	al/PA (Sub)	19	226953	1674334
50	52	52-126	Poço	Coqueiro	Recente	al	15	223967	1675846
51	54	54-456	Nascente	Boa Entradinha	Intermédia	al/PA (Sub)	143	218457	1672680
52	52	52-33	Nascente	Ribeirão Boi	Base	λρ	73	220187	1674250

B.2. Inventário dos pontos de água (continuação)

Ref. ISE	Mapa nº	Código	Tipo	Localidade	Unidade	Geologia	Alt (m)	UTM_X	UTM_Y
53	52	52-81	Poço	Saltos	Recente	al	36	221915	1678502
54	55	55-76	Poço	Bom Pó	Recente	al	146	223013	1667463
55	55	FT-81	Furo	Telha	Base	λρ	105	229124	1662598
56	55	FT-78	Furo	Monte Negro	Intermédia	PA (Sub)	2	230570	1668059
57	55	FT-14	Furo	Variante Vacaria	Base	CA	156	227657	1660424
58	55	FT-13	Furo	Neta Gomes	Base	CA	218	224304	1662236
59	55	PT-29	Furo	S. Domingos Diocese	Base	CA	274	222858	1663017
60	55	55-472	Nascente	Água de Gato	Intermédia	PA (Sub)	399	222142	1663209
61	55	55-555	Nascente	Lagoa S. Domingos	Intermédia	PA (Sub)	550	221066	1662332
62	55	FT-23	Furo	Chã de Vaca	Base	CB	240	219403	1665844
63	55	FT-21	Furo	Várzea de Santana	Intermédia	PA (Sub)	370	218070	1665968
64	55	55-338	Nascente	Boca Larga	Intermédia	al/PA (Sub)	428	219392	1668268
65	55	FBE-169	Furo	Ribeira Seca Paulado	Intermédia	PA (Lri)	32	226573	1670753
66	55	FT-63	Furo	Cutelo Coelho R. S	Intermédia	PA (Lri)	29	227753	1670027
67	56	FT-9	Furo	Ribeira Seca Macati	Intermédia	PA (Lri)	23	232398	1666219
68	55	FT-12	Furo	Jaracunda	Intermédia	PA (Lri)	22	226380	1671965
69	55	FT-59	Furo	Polãozinho R. Picos	Intermédia	PA (Lri)	25	226185	1672352
70	55	55-306	Nascente	Boca Larga	Intermédia	al/PA (Sub)	115	223525	1669911
71	58	58-56	Nascente	S. Jorginho	Intermédia	PA (Sub)	180	225662	1655538
72	58	FT-202	Furo	João Varela	Intermédia	PA (Sub)	322	221378	1656711
73	58	FBE-58	Furo	João Varela	Intermédia	PA (Sub)	266	221718	1655364
74	58	FBE-18	Furo	S. Martinho Pequeno	Intermédia	PA (Sub)	169	223445	1653296
75	51	51-6/7/8	Nascente	Águas Podres	Intermédia	A	273	207831	1675047
76	50	FBE-170	Furo	Ribeira de Charco	Intermédia	al/A	17	202970	1674353
77	50	FBE-201	Furo	Ribeira de Charco	Intermédia	al/A	1	202172	1674122
78	51	51-253	Nascente	Fundura Chã de Ferro	Intermédia	PA (Sub)	273	212591	1673608
79	58	58-53	Nascente	Trindade	Intermédia	PA (Sub)	168	223511	1654690
80	58	58-257	Nascente	Sanharé	Base	CA	99	222561	1652362
81	58	58-2	Poço	Ribeira Grande	Recente	al	14	218772	1650536
82	58	58-3	Nascente	Bica	Intermédia	PA (Sub)	69	219907	1650441
83	58	58-1	Nascente	Convento	Intermédia	PA (Sub)	76	218715	1650985
84	58	FBE-44	Furo	Assembleia	Intermédia	PA (Sub)	42	228160	1659235
85	57	FT-353	Furo	Alfarroba	Intermédia	PA (Sub)	120	211810	1656819
86	57	57-14	Nascente	S. Gonçalo	Intermédia	PA (Sub)	120	212286	1655748
87	57	57-19	Nascente	Santana	Intermédia	PA (Sub)	332	215357	1658619
88	58	58-23	Nascente	João Varela	Intermédia	PA (Sub)	200	221330	1654875
89	58	FBE-1	Furo	Lapa Cachorro	Intermédia	PA (Sub)	355	218609	1656688
90	57	57-30	Nascente	Delgado	Intermédia	PA (Sub)	222	216665	1656303
91	58	58-9	Nascente	Águas Verdes	Intermédia	PA (Sub)	128	219330	1653665
92	58	58-10/11	Nascente	Águas Verdes	Intermédia	PA (Sub)	102	219182	1653411
93	57	57-31	Nascente	Ribeira Gem Gê	Base	λρ	100	216414	1652418
94	51	51-95	Nascente	Porto Formoso	Intermédia	PA (Sub)	164	210886	1687193
95	55	FBE-56	Furo	Caiumbra	Base	CB	125	225525	1665963
96	59	59-30	Poço	Porto Lobo	Recente	al	81	233072	1659007
97	52	FT-39	Furo	Ribeireta Motorona	Intermédia	PA (Lri)	42	219311	1680507
98	48	48-22	Poço	Colonato	Recente	al	19	203922	1688598
99	48	48-9	Poço	Colonato	Recente	al	45	203994	1688891
100	49	FBE-129	Furo	Lém Mendes	Intermédia	PA (Lri)	23	205779	1687949
101	50	50-5	Poço	Ribeira de Cuba	Recente	al	10	204772	1684247
102	48	48-26	Nascente	Pedra Empena	Intermédia	PA (Sub)	63	203933	1693351
103	49	49-5	Nascente	João Vaz R. Lobraão	Base	PA/CA	95	208061	1693554
104	49	49-19	Poço	Modronho	Recente	al	1	210552	1690438

B.3. Inventário dos pontos de água (continuação)

Ref. ISE	Mapa nº	Código	Tipo	Localidade	Unidade	Geologia	Alt (m)	UTM_X	UTM_Y
105	56	56-45	Poço	Praia Baixo	Recente	al	25	232077	1665686
106	56	FT-109	Furo	Praia Baixo	Intermédia	PA (Sub)	19	232398	1666219
107	56	56-87	Poço	Baía	Recente	al	19	234896	1663456
108	52	52-132	Nascente	Serrado Cab. d'Horta	Base	λρ	45	219969	1674582
109	51	51-270	Nascente	Saltos Carniçal	Base	PA/λρ (λρ?)	201	216841	1674452
110	52	52-154	Nascente	Saltos	Base	PA/λρ (λρ?)	120	219220	1675208
111	58	FBE-53	Furo	Ribeirão Chiqueiro	Intermédia	PA (Sub)	237	228117	1659204
112	55	55-538	Nascente	Serrelho Ribeirão Boi	Base	PA/λρ (λρ?)	110	220855	1672877
113	57	FBE-138	Furo	Santa Clara	Intermédia	PA (Lri)	100	208866	1660028
114	54	FT-227	Furo	Mosquito Horta	Intermédia	PA (Sub)	463	212217	1661814
115	57	57-8	Nascente	Belém	Intermédia	PA (Sub)	254	213513	1659791
116	58	58-22/24	Nascente	João Varela	Intermédia	PA (Sub)	202	221211	1654659
117	59	59-10	Poço	Portinho	Recente	al	13	231456	1649965
118	59	59-24	Nascente	S. Francisco	Intermédia	PA/CA	76	231653	1658074
119	51	51-92	Poço	Porto Formoso	Recente	al	15	211316	1688170
120	54	FBE-90	Furo	Pico Freire	Base	A	330	215551	1663776
121	54	FBE-104	Furo	Leitão Grande	Base	A	632	215549	1667264
122	58	FBE-3	Furo	Caiada	Base	λρ	100	223544	1651657
123	51	FT-212	Furo	Ribeirão de Areia	Intermédia	A	430	207630	1676435
124	57	FT-153	Furo	S. João Baptista	Base	λρ	24	212286	1654461
125	49	48-1	Poço	Achada Fazenda	Recente	al	60	203647	1694466
126	56	56-88	Poço	Baía	Recente	al	17	235416	1662376
127	56	56-4	Poço	Castelo Grande	Recente	al	28	232611	1666450
128	56	FT-103	Furo	Praia Baixo	Intermédia	PA (Sub)	50	232878	1665341
129	52	FT-47	Furo	Saltos	Base	λρ	58	220450	1677468
130	52	52-155	Nascente	Saltos	Base	PA/λρ	130	219976	1676171
131	54	54-118	Nascente	Ribeira Selada	Intermédia	PA/λρ	250	204781	1667664
132	53	53-4	Nascente	Águas Belas	Intermédia	PA/CA	100	204859	1670721
133	57	FBE149	Furo	Santa Clara	Intermédia	PA (Lri)	96	209818	1659737

Anexo C

Análises físico - químicas

C.1. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	Si
1	49-18	53		06-06-2003	28,5	6,8	2.750	297,0	13,7	53,1	59,0	13,4
2	SST-15	183	141	06-06-2003	26,4	6,8	2.840	488,0	19,5	41,7	51,1	17,6
3	SST-10	99	130	06-06-2003	26,6	7,2	1.362	114,0	30,0	55,5	57,9	22,1
4	SST-34	32	50	06-06-2003	26,1	6,8	4.380	652,2	45,6	99,2	142,9	16,02
5	FT-27	32	34	06-06-2003	26,4	7,0	694	87,6	16,9	33,6	21,4	12,64
6	FT-29	37	36	06-06-2003	24,8	7,8	920	86,1	13,5	28,0	30,8	21,1
7	SST-21	100	115	06-06-2003	25,1	7,3	504	48,2	9,5	17,1	18,0	22,9
8	SST-30	130	150	06-06-2003	27,2	7,5	928	184,9	24,8	16,0	10,7	12,64
9	49-16	66		06-06-2003	24,3	7,0	2.020	325,0	10,4	38,8	45,4	18,5
10	SST-35	72	125	06-06-2003	25,2	7,7	1.859	253,1	35,7	48,0	57,3	16,02
11	SST-25	75	120	06-06-2003	26,8	7,6	1.604	301,8	18,9	25,6	35,0	12,43
12	SST-31	56	116	06-06-2003	25,1	7,1	1.450	272,6	24,8	25,6	28,2	17,07
13	FBE-150	30	40	06-06-2003	26,1	7,6	478	59,5	23,3	17,1	13,9	22,0
14	FBE-151	23	30	06-06-2003	24,5	7,3	377	46,1	13,9	12,7	9,5	20,3
15	49-22	10		09-06-2003	23,9	7,2	8.550	1.349,1	61,5	147,2	205,1	9,48
16	51-91	8		09-06-2003	25,8	7,0	3.360	287,0	16,1	75,5	89,2	22,5
17	FBE-131	258	268	09-06-2003	25,2	6,3	396	46,1	8,1	15,1	16,5	22,2
18	FBE-113	181	209	09-06-2003	24,7	7,1	459	45,2	10,0	13,5	15,4	20,5
19	FBE-161	524	128	09-06-2003	25,2	7,5	617	97,3	21,8	20,8	15,6	20,23
20	FBE-117	525	117	09-06-2003	24,0	7,2	448	68,1	9,9	17,6	12,6	25,29
21	FBE-112	176	43	10-06-2003	26,3	7,4	1.039	116,8	24,8	6,4	60,3	14,33
22	51-123	166		10-06-2003	23,7	7,6	506	42,9	5,9	27,0	24,5	19,8
23	51-119	112		10-06-2003	23,7	6,9	569	68,1	6,9	41,6	25,3	13,07
24	FBE-188	91	48	10-06-2003	26,6	7,0	627	68,1	7,9	43,2	29,2	13,91
25	51-273	29		10-06-2003	26,0	6,9	1.071	126,5	9,9	62,4	43,7	12,86
26	51-201	233		10-06-2003	24,2	7,2	527	77,9	8,9	27,2	23,3	16,86
27	52-29	34		10-06-2003	25,3	6,9	2.500	204,4	17,9	176,0	121,5	11,38
28	FT-62	36	43	10-06-2003	28,2	6,8	1.975	136,3	20,8	126,4	86,5	12,64
29	SP-12	38		10-06-2003	26,5	6,8	2.680	262,8	22,8	108,8	115,7	13,07
30	FT-5	86	70	10-06-2003	28,0	7,2	1.218	253,1	11,9	38,4	18,5	17,91
31	FBE-145	65	58	10-06-2003	27,9	7,3	1.380	243,4	46,6	22,4	30,1	16,44
32	56-111	25		10-06-2003	25,6	7,3	1.107	146,0	7,9	56,0	36,9	19,81
33	56-44	11		10-06-2003	28,5	7,0	1.535	175,2	8,9	49,6	66,1	23,18
34	FT-40	17	60	10-06-2003	27,7	7,2	1.394	93,0	5,7	82,2	63,3	22,6
35	FT-42	37	51	10-06-2003	28,0	7,0	1.418	91,5	8,9	80,0	58,3	16,44
36	56-114	14		10-06-2003	25,3	7,3	1.727	292,0	6,0	65,6	50,5	17,07
37	FT-44	22	52	10-06-2003	28,5	7,1	2.060	292,0	16,9	75,2	66,1	14,75
38	FT-208	59	43	11-06-2003	29,8	7,2	1.263	155,7	16,9	75,2	39,9	18,97
39	FBE-157	81	35	11-06-2003	34,9	7,4	1.413	141,0	28,1	43,5	52,5	21,1
40	FBE-97	330	74	11-06-2003	27,2	6,7	1.411	204,0	19,2	51,6	80,8	31,4
41	FBE-89	389	75	11-06-2003	28,1	7,0	1.075	81,8	26,8	24,0	55,4	14,96
42	FBE-95	674	112	11-06-2003	27,0	7,5	483	38,0	9,9	26,4	22,4	19,81
43	54-436	157		11-06-2003	27,6	7,0	1.389	67,6	14,0	115,0	71,5	21,2
44	54-6	209		11-06-2003	27,3	7,2	949	87,6	16,9	51,2	38,9	15,59
45	FBE-116	518	166	11-06-2003	25,1	7,4	497	58,4	11,9	19,2	12,6	15,59
46	54-128	418		11-06-2003	25,4	8,0	545	59,2	14,2	20,8	17,7	29,8
47	FBE-74	356	68	11-06-2003	26,3	6,9	1.756	194,7	41,7	88,0	73,9	23,18
48	FBE-73	508	250	11-06-2003	25,6	7,3	440	68,1	10,9	27,2	18,5	18,76
49	52-42	19		11-06-2003	27,3	7,3	12.680	486,7	55,6	940,0	884,5	13,07
50	52-126	15		11-06-2003	23,6	7,2	6.520	584,0	40,7	352,0	308,6	13,91
51	54-456	143		11-06-2003	26,4	7,3	1.368	97,3	16,9	56,0	56,4	16,86

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.2. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	Si
52	52-33	73		19-06-2003	27,9	7,6	1.182	116,8	18,9	36,8	52,5	11,38
53	52-81	36		19-06-2003	24,8	7,0	7.300	389,4	36,7	572,0	454,4	0,84
54	55-76	146		19-06-2003	26,7	7,1	1.809	194,7	7,9	172,8	68,0	11,17
55	FT-81	105	51	19-06-2003	25,5	6,9	1.282	84,5	7,5	85,7	50,9	24,4
56	FT-78	2	52	19-06-2003	27,6	7,0	2.980	151,0	8,6	202,0	140,0	30,1
57	FT-14	156	50	19-06-2003	26,4	6,0	1.557	136,3	6,9	67,2	74,8	15,81
58	FT-13	218	50	19-06-2003	25,0	6,9	1.634	223,9	9,9	48,0	77,8	15,81
59	PT-29	274	91	19-06-2003	24,6	7,0	2.110	438,0	9,9	8,0	43,7	21,07
60	55-472	399		19-06-2003	25,0	7,7	438	36,0	5,7	19,6	22,8	23,1
61	55-555	550		19-06-2003	22,8	8,0	433	34,2	6,6	19,3	21,0	20,8
62	FT-23	240	50	19-06-2003	26,7	7,2	1.041	165,5	17,9	40,0	31,1	16,65
63	FT-21	370	50	19-06-2003	26,7	7,1	1.351	243,4	24,8	6,4	53,5	16,86
64	55-338	428		24-06-2003	23,5	5,7	914	68,1	5,0	68,8	41,8	20,23
65	FBE-169	32	54	24-06-2003	26,3	7,1	1.192	97,3	10,9	36,8	53,5	15,81
66	FT-63	29	63	24-06-2003	25,5	7,1	1.029	52,1	5,8	72,0	46,2	21,8
67	FT-9	23	32	26-06-2003	26,3	7,1	1.020	97,3	7,9	35,2	39,9	15,81
68	FT-12	22	50	27-06-2003	25,2	7,1	1.311	66,4	5,9	82,8	64,7	23,3
69	FT-59	25	50	27-06-2003	27,8	7,0	913	77,9	9,9	72,0	45,7	17,70
70	55-306	115		27-06-2003	25,7	6,7	1.204	97,3	7,9	62,4	55,4	15,81
71	58-56	180		27-06-2003	26,3	7,2	606	68,1	9,9	28,8	28,2	15,81
72	FT-202	322	97	27-06-2003	24,3	7,2	384	58,4	11,9	17,6	15,6	17,70
73	FBE-58	266	124	27-06-2003	24,5	7,3	362	68,1	6,9	19,2	14,6	17,28
74	FBE-18	169	34	30-06-2003	27,5	7,1	525	68,1	9,9	27,2	22,0	17,28
75	51-6/7/8	273		30-06-2003	25,5	7,6	695	59,6	26,8	27,6	20,2	24,4
76	FBE-170	17	51	30-06-2003	25,3	7,7	1.343	175,2	39,7	38,4	53,5	13,91
77	FBE-201	1	30	03-07-2003	27,9	7,0	1.929	128,0	41,6	84,0	74,1	37,0
78	51-253	273		04-07-2003	24,3	7,3	932	136,3	29,8	17,6	36,0	18,55
79	58-53	168		04-07-2003	24,6	7,1	417	36,1	7,1	19,7	19,8	23,3
80	58-257	99		04-07-2003	26,7	7,2	440	58,4	10,9	19,2	14,6	16,44
81	58-2	14		04-07-2003	24,5	7,0	3.180	155,7	27,8	203,2	165,2	15,59
82	58-3	69		04-07-2003	26,1	8,2	414	28,4	4,4	21,7	19,6	22,1
83	58-1	76		07-07-2003	26,9	7,4	410	29,2	4,4	22,6	18,6	22,0
84	FBE-44	42	80	07-07-2003	28,3	7,0	1.020	170,0	9,9	18,6	17,8	15,4
85	FT-353	120	70	07-07-2003	27,3	7,4	761	87,6	26,8	17,6	27,2	13,49
86	57-14	120		07-07-2003	26,0	7,3	435	68,1	8,9	19,2	13,6	12,43
87	57-19	332		07-07-2003	25,2	7,3	377	22,6	3,7	22,0	19,6	23,5
88	58-23	200		11-07-2003	26,4	7,3	405	68,1	8,9	17,6	15,6	15,81
89	FBE-1	355	151	10-07-2003	26,8	7,9	366	25,8	4,5	19,3	17,3	19,7
90	57-30	222		10-07-2003	23,5	7,2	928	97,3	11,9	28,8	34,0	11,80
91	58-9	128		10-07-2003	26,1	7,7	377	29,9	4,5	18,9	16,9	18,4
92	58-10/11	102		10-07-2003	26,1	7,6	384	29,5	5,3	19,4	17,5	20,4
93	57-31	100		10-07-2003	24,8	7,4	933	146,0	9,9	40,0	21,4	13,07
94	51-95	164		11-07-2003	27,3	7,2	547	45,2	1,8	17,6	20,6	33,5
95	FBE-56	125	105	11-07-2003	26,2	7,1	1.123	76,9	4,1	76,0	39,0	24,3
96	59-30	81		11-07-2003	26,9	6,5	1.640	243,4	10,9	81,6	50,5	15,59
97	FT-39	42	104	11-07-2003	26,0	6,9	1.439	113,0	9,9	57,0	70,7	30,1
98	48-22	19		11-07-2003	27,5	7,3	4.870	715,4	51,6	156,8	146,8	3,16
99	48-9	45										
100	FBE-129	23	36									
101	50-5	10										
102	48-26	63		11-07-2003	21,1	7,4	796	117,0	6,5	10,2	9,4	11,3

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.3. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	Si
103	49-5	95										
104	49-19	1										
105	56-45	25										
106	FT-109	19	66									
107	56-87	19										
108	52-132	45		11-07-2003	25,7	7,3	1.130	57,7	8,5	66,5	61,0	27,2
109	51-270	201										
110	52-154	120										
111	FBE-53	237	114	01-08-2003	26,4	7,2	739	87,6	6,9	38,4	31,1	16,86
112	55-538	110										
113	FBE-138	100	30	11-07-2003	21,0			45,0	12,6	46,5	30,6	20,5
114	FT-227	463	88	11-07-2003	28,0			58,6	19,0	27,8	19,4	20,4
115	57-8	254										
116	58-22/24	202										
117	59-10	13										
118	59-24	76		11-07-2003	26,0	7,0	1.800	178,0	14,7	66,0	65,4	18,1
119	51-92	15		11-07-2003	24,3	7,3	3.640	447,0	41,6	92,4	123,0	23,9
120	FBE-90	330	76	11-07-2003	25,2	7,0	1.710	204,4	20,8	59,2	107,9	18,97
121	FBE-104	632	66	11-07-2003	25,0	7,1	1.252	155,7	25,8	45,6	64,2	23,18
122	FBE-3	100	61	11-07-2003	24,0	7,0	759	97,3	24,8	36,8	27,2	20,02
123	FT-212	430	158	11-07-2003	24,9	7,3	577	97,3	47,6	19,2	11,7	13,49
124	FT-153	24	61	11-07-2003	27,2	7,4	987	45,2	15,7	69,5	53,7	22,7
126	48-1	60		24-07-2003	27,5	7,5	5.480	661,9	53,6	164,8	221,6	14,33
127	56-88	17		24-07-2003	26,5	7,4	5.620	447,8	21,8	305,6	278,0	15,59
128	56-4	28		24-07-2003	27,2	6,7	1.468	214,1	6,9	54,4	51,5	20,02
129	FT-103	50	60	24-07-2003	29,5	6,7	8.090	486,7	9,9	620,0	529,7	18,97
130	FT-47	58	55	01-08-2003	27,0	7,2	1.622	113,0	19,2	68,8	81,4	29,8
131	52-155	130		01-08-2003	27,5	7,2	1.631	175,2	27,8	41,6	71,9	20,44
132	54-118	250		01-08-2003	27,0	7,2	542	68,1	11,9	35,2	22,4	13,49
133	53-4	100		04-07-2003	27,5	7,8	470	46,4	7,9	24,1	16,7	24,4
134	FBE149	96	52	06-06-2003				54,9	13,3	42,1	26,8	23,9

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.4. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	F	Br	Al	As	B	Ba	Cd
1	534,6	278	83,8	3,30	-0,21	-0,42	0,52	1,96	4	2,03	299	6,3	-0,01
2	723,6	303	153,2	12,41	-0,25	-0,49	2,45	3,27	25	2,88	465	14,7	0,02
3	234,1	244	42,5	6,42	-0,11	-0,23	-0,11	0,78	27	1,46	263	19,6	-0,01
4	1.233,7	210	14,6	3,63									
5	99,3	161	18,2	7,27									
6	185,1	188	18,4	2,43	-0,08	-0,15	-0,08	0,73	25	0,72	65	1,0	-0,01
7	55,9	186	9,3	2,28	-0,04	-0,08	0,09	0,22	25	0,56	82	0,6	-0,01
8	148,9	239	18,2	4,85									
9	320,2	537	148,2	-0,17	-0,17	-0,35	2,96	1,24	42	1,03	474	66,0	0,06
10	375,8	249	54,6	6,06									
11	347,4	256	27,3	4,85									
12	340,3	168	36,4	3,63									
13	45,7	188	9,0	3,91	-0,04	-0,09	-0,09	0,22	24	0,67	73	1,6	-0,01
14	36,8	151	7,2	3,20	-0,03	-0,06	0,10	0,17	22	0,53	63	0,5	0,01
15	2.417,7	183	36,4	16,96									
16	696,5	188	79,6	3,99	-0,25	-0,50	-0,25	1,56	4	2,29	152	24,4	0,01
17	40,6	164	6,8	1,54	-0,03	-0,07	0,07	0,16	3	0,37	37	0,9	-0,01
18	44,7	195	8,4	2,45	-0,04	-0,08	0,08	0,19	21	0,50	54	0,9	0,02
19	78,0	183	0,0	9,69									
20	63,8	100	13,7	13,33									
21	99,3	344	36,4	2,42									
22	50,5	227	4,8	0,98	-0,04	-0,09	-0,04	0,20	9	0,23	37	5,1	-0,01
23	56,7	244	18,2	1,82									
24	70,9	227	18,2	6,06									
25	226,9	122	63,7	8,48									
26	56,7	220	9,1	4,85									
27	609,7	303	72,8	4,85									
28	418,3	181	54,6	9,69									
29	638,1	110	81,9	9,69									
30	163,1	293	136,6	3,63									
31	226,9	305	72,8	1,21									
32	205,6	178	72,8	3,63									
33	312,0	156	54,6	10,90									
34	259,3	193	36,8	3,58	-0,11	-0,22	-0,11	0,72	9	0,55	116	7,0	0,03
35	382,9	98	68,3	20,59									
36	390,0	207	91,1	6,06									
37	510,5	164	72,8	5,45									
38	283,6	159	36,4	8,48									
39	261,4	225	58,6	14,25	-0,12	-0,25	-0,12	1,02	2	1,06	131	30,4	0,03
40	108,7	430	295,8	-0,13	-0,13	-0,26	-0,13	0,32	21	0,63	45	17,7	0,06
41	113,4	432	27,3	3,03									
42	70,9	198	4,6	6,66									
43	140,9	372	95,5	2,54	-0,09	-0,18	-0,09	0,61	8	0,40	57	32,8	0,02
44	99,3	268	54,6	4,85									
45	56,7	205	4,6	9,09									
46	69,3	127	8,6	13,84	-0,05	-0,09	-0,05	0,30	18	0,51	51	6,9	-0,01
47	312,0	317	81,9	16,96									
48	49,6	186	18,2	4,85									
49	4.225,6	78	209,4	0,61									
50	1.871,8	78	264,0	14,54									
51	198,5	183	63,7	8,48									

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.5. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	F	Br	Al	As	B	Ba	Cd
52	170,2	205	45,5	8,48					17	0,18	29	5,6	-0,01
53	2.297,2	110	136,6	0,61									
54	163,1	207	546,3	0,00									
55	198,0	288	38,4	11,75	-0,10	-0,21	-0,10	0,61	2	0,52	90	3,1	0,02
56	798,9	90	84,6	9,01	-0,29	-0,57	-0,29	2,21	4	2,80	157	19,4	0,04
57	241,1	193	91,1	14,54									
58	184,3	481	127,5	0,00									
59	127,6	661	227,6	4,85									
60	40,6	178	6,6	2,44	-0,04	-0,07	-0,04	0,16	2	0,31	50	1,5	-0,01
61	41,2	176	7,2	1,74	-0,04	-0,07	-0,04	0,18	6	0,25	35	3,4	0,02
62	106,4	312	63,7	12,11									
63	85,1	566	81,9	0,00									
64	92,2	200	72,8	10,90									
65	184,3	159	45,5	14,54									
66	140,6	164	39,6	11,02	-0,08	-0,17	-0,08	0,66	-2	0,28	74	9,8	0,03
67	141,8	156	36,4	13,33									
68	229,3	176	23,1	5,89	-0,11	-0,22	-0,11	0,71	45	0,58	101	16,3	0,02
69	113,4	315	27,3	8,48									
70	177,3	154	72,8	13,33									
71	85,1	198	0,0	3,63									
72	49,6	149	4,6	3,63									
73	49,6	144	45,5	3,63									
74	70,9	188	4,6	4,85									
75	69,1	247	14,3	9,37	0,10	-0,11	-0,06	0,37	13	0,58	75	17,6	-0,01
76	148,9	347	109,3	3,63									
77	301,4	320	85,4	8,98	-0,15	-0,29	-0,15	0,89	6	0,98	117	10,2	0,03
78	99,3	281	45,5	4,85									
79	53,8	144	9,0	3,15	-0,04	-0,07	0,08	0,26	10	0,23	48	12,1	-0,01
80	49,6	164	4,6	3,03									
81	879,2	190	45,5	0,00									
82	47,4	142	7,0	3,24	-0,03	-0,07	-0,03	0,26	4	0,28	35	7,7	0,02
83	47,0	161	7,4	2,54	-0,03	-0,07	-0,03	0,26	4	0,30	35	7,9	-0,01
84	216,7	268	28,7	5,68	-0,10	-0,19	0,59	0,62	21	2,01	318	25,4	0,02
85	78,0	237	4,6	4,24									
86	49,6	146	18,2	4,85									
87	34,5	173	5,2	2,41	-0,03	-0,06	-0,03	0,17					
88	56,7	161	9,1	3,63									
89	38,5	144	5,9	1,98	-0,03	-0,06	-0,03	0,20	3	0,30	29	4,3	0,02
90	163,1	98	27,3	10,90									
91	40,0	149	6,5	1,40	-0,03	-0,07	-0,03	0,20	4	0,20	31	7,8	-0,01
92	40,5	144	7,4	2,02	-0,03	-0,07	-0,03	0,20	47	0,37	46	8,0	-0,01
93	177,3	220	13,7	1,21									
94	92,2	112	12,4	8,50	-0,05	-0,09	0,14	0,27	14	0,48	86	12,5	-0,01
95	183,5	295	38,5	4,06	-0,09	-0,19	-0,09	0,76	14	0,72	83	1,0	0,05
96	319,1	349	36,4	5,45									
97	248,7	276	50,3	3,38	-0,11	-0,23	-0,11	1,05	-2	0,84	168	49,2	-0,01
98	1.375,5	98	163,9	1,21									
99													
100													
101													
102	177,7	120	28,7	5,52	-0,07	-0,13	0,82	0,48	8	1,65	163	1,0	-0,01

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.6. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	F	Br	Al	As	B	Ba	Cd
103													
104													
105													
106													
107													
108	133,5	281	42,0	13,45	-0,10	-0,20	-0,10	0,55	-2	0,62	107	74,8	-0,01
109													
110													
111	134,7	161	9,1	6,06									
112													
113	57,7	210	19,4	16,35	-0,06	-0,13	-0,06	0,38	25	0,49	33	18,4	0,01
114	26,2	278	9,3	-0,04	-0,04	-0,09	-0,04	0,16	3	1,26	19	120,0	0,01
115													
116													
117													
118	387,7	227	110,5	0,48	-0,17	-0,33	-0,17	1,46	6	1,57	156	40,3	0,02
119	1.020,0	144	115,8	4,38	-0,37	-0,74	-0,37	2,52	5	2,19	157	25,8	0,01
120	141,8	535	236,7	1,21									
121	85,1	708	54,6	1,21									
122	78,0	239	27,3	23,02									
123	70,9	161	18,2	15,75									
124	100,1	324	23,8	1,74	-0,07	-0,13	-0,07	0,47	-2	0,28	30	27,2	-0,01
126	1.588,2	212	163,9	0,00									
127	1.659,1	83	45,5	66,63									
128	312,0	259	45,5	8,48									
129	2.609,1	110	136,6	7,27									
130	271,9	267	35,9	8,02	-0,12	-0,25	-0,12	1,22	9	0,90	156	79,1	-0,01
131	212,7	454	4,6	1,82									
132	56,7	242	9,1	0,61									
133	56,6	160	8,2	2,28	-0,04	-0,08	0,08	0,24	99	0,53	53	14,9	-0,01
134	53,6	280	12,7	4,61	-0,06	-0,11	-0,06	0,34	8	0,50	31	21,4	0,01

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.7. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	I	Li	Mn	Mo	Ni	Pd	Rb	Sc
1	-0,01	-0,5	0,01	4,9	140	0,02	0,05	364	2	0,3	2,4	1,5	0,20	6,5	3
2	0,04	1,4	0,11	9,2	140	0,04	0,13	404	3	3,3	2,4	11,0	0,39	18,4	3
3	0,02	6,9	0,04	1,9	170	0,03	0,08	133	13	7,1	0,5	1,1	0,11	10,9	4
4															
5															
6	-0,01	2,0	0,02	3,0	80	0,03	0,04	43	2	0,6	0,6	0,6	0,10	16,0	4
7	-0,01	3,2	0,02	-0,2	50	0,03	0,04	50	1	0,5	0,8	0,5	0,04	13,4	5
8															
9	0,29	0,7	0,02	5,9	130	0,02	0,06	263	3	126,0	39,6	11,5	0,24	5,8	4
10															
11															
12															
13	0,01	3,3	0,01	0,9	50	0,04	0,04	53	1	0,4	1,8	0,4	0,05	18,2	5
14	0,01	2,5	0,01	0,6	30	0,05	0,03	41	-1	0,5	1,3	0,3	0,03	12,9	4
15															
16	0,11	-0,5	0,02	4,9	190	0,02	0,05	166	4	43,8	0,5	2,2	0,20	19,3	4
17	-0,01	2,8	0,01	1,5	40	0,03	0,02	28	-1	1,0	0,6	0,3	0,03	10,5	4
18	0,01	3,3	0,01	0,7	40	0,04	0,04	43	1	0,7	0,9	0,3	0,03	10,5	4
19															
20															
21															
22	0,01	2,0	0,01	-0,2	80	0,02	0,01	30	-1	1,9	0,3	0,4	0,03	13,3	4
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34	-0,01	1,3	0,02	1,2	230	0,01	0,08	72	-1	0,3	0,3	1,6	0,08	8,3	5
35															
36															
37															
38															
39	-0,01	1,5	0,05	2,0	110	0,03	0,11	26	4	0,2	1,1	1,1	0,17	27,9	4
40	0,02	0,7	0,03	4,4	150	0,01	0,35	22	12	7,8	13,5	15,2	0,10	15,7	6
41															
42															
43	-0,01	-0,5	0,02	1,2	280	0,02	0,03	29	-1	3,4	1,0	0,9	0,04	22,6	4
44															
45															
46	0,08	3,3	0,00	0,7	70	0,02	0,04	62	-1	5,3	0,5	0,6	0,03	15,7	5
47															
48															
49															
50															
51															

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.8. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	I	Li	Mn	Mo	Ni	Pd	Rb	Sc
52	-0,01	4,0	0,01	-0,2	60	0,01	0,05	19	-1	0,1	-0,1	-0,3	-0,01	12,2	4
53															
54															
55	-0,01	-0,5	0,01	3,3	210	-0,01	0,05	133	-1	0,8	0,8	0,5	0,05	8,0	4
56	-0,01	-0,5	0,03	2,1	460	0,02	0,07	131	-1	0,2	0,3	1,1	0,12	19,2	6
57															
58															
59															
60	-0,01	3,7	0,00	-0,2	40	-0,01	0,03	36	-1	0,2	0,5	0,3	0,02	12,6	4
61	-0,01	3,0	0,01	-0,2	40	0,02	0,04	30	-1	-0,1	0,5	0,3	0,03	15,6	4
62															
63															
64															
65															
66	-0,01	-0,5	0,03	0,4	170	0,01	0,05	64	-1	0,3	0,3	0,4	0,03	10,1	5
67															
68	-0,01	2,3	0,03	0,9	280	0,02	0,06	91	-1	1,2	-0,1	0,9	0,05	12,3	5
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75	-0,01	9,5	0,00	0,4	80	0,02	0,05	69	-1	1,6	1,0	0,4	0,06	23,0	5
76															
77	-0,01	0,9	0,09	1,6	190	-0,01	0,09	74	2	7,2	3,7	1,2	0,08	33,6	7
78															
79	-0,01	4,7	0,01	0,2	60	0,01	0,05	44	-1	0,5	0,3	0,3	0,03	13,7	4
80															
81															
82	-0,01	4,0	0,01	-0,2	50	0,03	0,03	26	-1	0,2	0,4	-0,3	0,02	13,2	3
83	-0,01	4,7	0,00	-0,2	50	0,02	0,03	30	-1	0,1	0,3	-0,3	0,02	12,4	4
84	0,13	4,7	0,01	8,0	70	0,06	0,04	106	3	2,3	2,4	1,9	0,17	6,1	3
85															
86															
87															
88															
89	-0,01	4,1	0,00	-0,2	40	0,02	0,04	26	-1	0,1	0,3	-0,3	0,01	13,5	4
90															
91	-0,01	3,4	0,01	0,2	40	0,02	0,03	22	-1	0,2	0,3	-0,3	0,02	12,6	3
92	-0,01	4,4	0,01	-0,2	70	0,03	0,03	30	-1	0,5	0,3	-0,3	0,01	12,8	4
93															
94	0,35	1,9	0,00	0,8	70	-0,01	0,03	104	-1	21,4	0,5	1,1	0,07	9,1	6
95	-0,01	-0,5	0,01	2,8	200	0,06	0,05	92	-1	0,7	0,9	0,7	0,05	4,1	5
96															
97	-0,01	1,8	0,03	1,6	210	0,01	0,07	125	1	0,8	0,5	1,2	0,13	20,1	5
98															
99															
100															
101															
102	-0,01	5,0	0,02	1,4	30	0,07	0,03	153	-1	0,3	3,6	2,8	0,10	5,5	2

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.9. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	I	Li	Mn	Mo	Ni	Pd	Rb	Sc
103															
104															
105															
106															
107															
108	0,01	1,6	0,02	3,2	160	-0,01	0,08	119	-1	7,4	0,2	0,9	0,05	19,1	5
109															
110															
111															
112															
113	-0,01	2,3	0,02	0,8	130	0,02	0,04	27	-1	1,2	1,2	0,8	0,03	24,0	4
114	-0,01	1,4	0,02	0,4	80	-0,01	0,20	18	6	10,3	5,3	0,5	0,03	18,5	4
115															
116															
117															
118	-0,01	2,8	0,02	2,6	160	-0,01	0,07	113	3	0,5	10,8	3,3	0,12	21,2	3
119	0,60	-0,5	0,02	7,8	290	0,03	0,06	77	4	74,1	0,5	2,9	0,39	19,9	4
120															
121															
122															
123															
124	-0,01	1,2	0,02	0,7	170	0,02	0,03	18	-1	0,4	0,6	0,3	0,02	25,2	5
126															
127															
128															
129															
130	-0,01	1,3	0,03	1,8	200	0,01	0,15	118	3	0,5	0,5	1,2	0,10	20,0	5
131															
132															
133	0,08	3,2	0,01	0,8	130	0,06	0,06	31	-1	3,3	0,8	0,9	0,02	13,2	5
134	-0,01	3,1	0,02	1,2	120	0,01	0,04	29	-1	1,2	0,9	0,4	0,02	21,8	4

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.10. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Se	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm
1	9	440	3,0	24,2	0,03	3,4	0,01	0,015	0,018	0,004	0,016	0,004
2	13	1320	4,2	36,8	0,02	227,0	0,05	0,009	0,014	0,002	0,007	0,002
3	5	780	5,0	18,8	0,02	46,8	0,12	0,025	0,051	0,007	0,023	0,004
4								0,016	0,031	0,004	0,019	0,002
5												
6	2	450	4,2	25,9	0,01	9,1	0,03	0,004	0,009	0,001	0,005	-0,001
7	3	250	4,8	33,7	0,01	9,7	0,03	0,090	0,184	0,017	0,066	0,015
8												
9	3	2910	6,4	10,5	0,09	5,8	0,18	0,022	0,034	0,004	0,012	0,004
10												
11												
12												
13	3	189	3,6	35,4	0,01	15,5	0,04	0,017	0,034	0,004	0,018	0,004
14	2	158	3,6	27,7	0,01	14,0	0,03	0,010	0,018	0,003	0,008	0,001
15												
16	9	980	2,9	13,4	0,02	131,0	-0,01	0,030	0,059	0,007	0,032	0,006
17	2	230	2,8	30,7	0,00	79,8	-0,01	0,021	0,044	0,005	0,016	0,004
18	3	188	3,6	29,0	0,01	57,3	0,05	0,004	0,007	0,001	0,005	-0,001
19												
20												
21												
22	1	400	2,8	17,9	0,02	14,3	-0,01	0,007	0,011	0,002	0,009	0,002
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34	7	940	3,4	13,9	0,01	15,2	0,01	0,006	0,008	0,001	0,006	-0,001
35												
36												
37												
38												
39	9	890	2,4	> 50,0	0,01	35,0	-0,01	0,012	0,022	0,003	0,011	0,003
40	1	1090	4,6	0,8	0,02	214,0	0,05	0,099	0,220	0,023	0,077	0,018
41												
42												
43	4	1380	3,1	10,3	0,04	22,4	0,04	0,015	0,027	0,003	0,010	0,003
44												
45												
46	2	260	4,4	20,7	0,01	6,8	0,03	0,014	0,028	0,004	0,013	0,004
47												
48												
49												
50												
51												

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.11. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Se	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm
52	2	260	2,6	15,3	0,00	3,8	-0,01	0,018	0,034	0,004	0,018	0,002
53												
54												
55	5	890	3,0	16,8	0,01	10,6	0,02	0,004	0,008	0,001	0,006	0,001
56	14	1660	3,8	12,6	0,02	6,8	0,01	0,081	0,106	0,018	0,053	0,011
57												
58												
59												
60	2	250	2,5	25,1	0,00	7,2	-0,01	0,005	0,010	0,001	0,005	-0,001
61	2	260	2,6	24,2	0,01	4,0	-0,01	0,004	0,010	0,001	0,003	-0,001
62												
63												
64												
65												
66	4	630	2,8	19,8	0,01	12,8	-0,01	0,017	0,032	0,004	0,011	0,005
67												
68	6	1100	9,0	17,0	0,03	8,8	0,12	0,017	0,032	0,004	0,020	0,002
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75	3	430	3,9	20,5	0,01	5,6	-0,01	0,034	0,067	0,008	0,040	0,006
76												
77	6	1310	4,5	5,6	0,02	122,0	-0,01	0,033	0,049	0,006	0,035	0,005
78												
79	2	300	3,5	14,2	0,01	7,6	0,02	0,005	0,010	0,001	0,008	0,001
80												
81												
82	3	290	2,2	13,9	0,00	4,4	-0,01	0,012	0,019	0,002	0,012	0,003
83	2	310	2,5	15,3	0,00	3,6	-0,01	0,012	0,027	0,003	0,019	0,004
84	2	240	2,6	45,2	0,02	94,3	0,03	0,036	0,068	0,009	0,033	0,006
85												
86												
87												
88												
89	2	240	2,5	13,6	0,00	5,8	-0,01	0,021	0,046	0,005	0,019	0,002
90												
91	2	280	2,3	16,8	0,00	4,2	-0,01	0,007	0,014	0,002	0,008	-0,001
92	3	270	5,4	16,7	0,02	3,2	-0,01	0,004	0,007	-0,001	0,003	-0,001
93												
94	4	136	5,1	27,2	0,03	11,9	0,03	0,012	0,025	0,003	0,010	0,002
95	7	550	4,0	29,9	0,01	660,0	0,01	0,005	0,009	0,001	0,002	-0,001
96												
97	5	880	3,5	30,5	0,01	31,8	-0,01	0,006	0,013	0,002	0,007	-0,001
98												
99												
100												
101												
102	5	50	1,6	11,1	0,01	6,2	-0,01					

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.12. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Se	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm
103												
104												
105												
106												
107												
108	9	820	3,2	26,9	0,03	181,0	-0,01	0,014	0,024	0,003	0,012	0,003
109												
110												
111												
112												
113	5	780	5,2	17,5	0,02	24,7	0,07	0,013	0,013	0,003	0,014	0,002
114	1	440	2,5	4,0	0,01	6,5	-0,01	0,003	0,007	-0,001	0,005	-0,001
115												
116												
117												
118	8	1240	2,5	12,1	0,01	8,7	-0,01	0,020	0,028	0,003	0,012	0,003
119	6	1520	3,1	13,5	0,02	11,1	0,02	0,005	0,010	0,001	0,005	0,002
120												
121												
122												
123												
124	2	1060	3,2	16,5	0,01	10,4	-0,01	0,026	0,055	0,006	0,034	0,010
126												
127												
128												
129												
130	6	900	4,3	17,4	0,01	15,8	-0,01	0,007	0,014	0,002	0,004	-0,001
131												
132												
133	2	310	12,1	22,4	0,04	6,2	0,11	0,007	0,012	0,001	0,003	-0,001
134	3	720	3,0	21,8	0,01	145,0	-0,01	0,020	0,036	0,004	0,015	0,004

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.13. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Eu	Gd	Dy	W	Re	Au	Tl	Pb	U	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^2\text{H} \text{‰}$
1	0,011	0,004	0,003	-0,020	0,001	0,009	0,003	0,350	0,430	-5,00	-31,5
2	0,006	0,003	0,001	-0,020	0,022	0,014	0,005	0,120	0,615	-3,64	-21,1
3	0,004	0,006	0,004	1,710	0,002	0,010	0,003	4,240	0,632	-4,71	-30,0
4	0,001	0,004	0,002	0,100	-0,001	-0,002	-0,001	0,460	0,163		
5											
6	-0,001	-0,001	-0,001	0,050	-0,001	0,002	-0,001	0,060	0,097	-3,95	-22,0
7	0,011	0,014	0,010	0,030	0,009	0,018	0,004	0,110	2,850	-3,99	-22,6
8											
9	0,001	0,003	0,002	0,170	-0,001	0,002	-0,001	0,160	0,314	-4,02	-24,6
10											
11											
12											
13	-0,001	0,002	0,002	0,140	-0,001	-0,002	-0,001	0,260	0,135	-4,36	-28,3
14	0,002	0,002	0,002	0,060	0,014	0,010	0,006	0,370	1,610	-4,24	-24,5
15											
16	0,003	0,003	0,003	-0,020	0,004	0,016	0,010	1,080	0,561	-5,03	-34,4
17	0,003	0,003	-0,001	0,050	-0,001	0,003	0,001	0,160	0,047	-3,87	-22,0
18	-0,001	-0,001	-0,001	0,040	-0,001	-0,002	-0,001	0,060	0,086	-4,44	-26,4
19											
20											
21											
22	0,004	0,002	-0,001	0,410	0,003	0,007	0,004	2,650	0,223	-3,84	-23,8
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34	0,004	-0,001	-0,001	-0,020	0,006	0,003	0,002	0,090	1,150	-4,24	-25,7
35											
36											
37											
38											
39	0,002	0,002	0,002	-0,020	0,004	0,007	0,001	0,180	0,260	-4,47	-28,3
40	0,008	0,016	0,008	-0,020	-0,001	0,003	-0,001	0,220	0,158	-4,13	-22,8
41											
42											
43	0,002	0,003	-0,001	0,030	-0,001	0,003	0,002	0,100	0,181	-4,65	-27,9
44											
45											
46	0,009	0,002	-0,001	-0,020	0,005	0,008	0,002	0,790	0,309	-4,85	-28,1
47											
48											
49											
50											
51											

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L^{-1}

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.14. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Eu	Gd	Dy	W	Re	Au	Tl	Pb	U	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^2\text{H} \text{‰}$
52	0,005	0,006	0,003	-0,020	0,022	0,005	0,003	0,110	1,200		
53											
54											
55	-0,001	-0,001	-0,001	0,020	-0,001	0,003	-0,001	0,160	0,084	-4,50	-29,1
56	0,006	0,010	0,006	-0,020	0,001	0,007	-0,001	0,170	0,347	-4,26	-27,7
57											
58											
59											
60	0,001	-0,001	-0,001	0,040	-0,001	0,007	-0,001	0,110	0,087	-4,58	-26,7
61	0,002	-0,001	-0,001	0,030	-0,001	0,004	-0,001	0,090	0,078	-4,76	-30,3
62											
63											
64											
65											
66	0,001	0,002	0,001	0,070	-0,001	-0,002	-0,001	0,980	0,179	-3,72	-23,5
67											
68	0,002	0,002	0,001	-0,020	0,006	0,007	0,002	0,500	0,321	-4,28	-24,0
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75	0,004	0,007	0,005	-0,020	-0,001	0,004	0,002	0,190	0,010	-4,90	-32,2
76											
77	0,002	0,006	0,004	0,030	-0,001	-0,002	-0,001	0,020	0,091	-4,96	-29,7
78											
79	0,005	-0,001	0,001	-0,020	0,002	0,007	-0,001	0,410	0,457	-4,01	-23,7
80											
81											
82	0,003	0,003	0,001	-0,020	0,004	0,019	0,001	0,100	0,412	-5,10	-32,6
83	0,004	0,004	0,002	0,020	0,001	0,019	0,002	0,200	0,480	-5,45	-33,6
84	0,004	0,006	0,004	-0,020	0,003	0,008	0,002	0,380	0,363	-1,93	-10,8
85											
86											
87										-5,81	-36,7
88											
89	0,002	0,004	-0,001	0,060	-0,001	0,009	-0,001	0,520	0,196	-5,37	-34,1
90											
91	-0,001	-0,001	0,001	-0,020	0,022	0,012	-0,001	0,160	0,276	-5,23	-32,9
92	-0,001	0,001	-0,001	0,040	-0,001	-0,002	-0,001	0,070	0,102	-5,26	-33,5
93											
94	0,002	0,001	0,002	-0,020	-0,001	-0,002	-0,001	0,110	0,061	-4,34	-25,6
95	0,002	0,002	-0,001	-0,020	0,005	0,005	0,001	0,070	0,256	-3,88	-25,4
96											
97	0,003	0,001	-0,001	0,030	0,002	-0,002	0,001	0,210	0,310	-5,05	-29,1
98											
99											
100											
101											
102										-3,00	-16,8

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L^{-1}

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.15. Resultados das análises químicas da 1.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Eu	Gd	Dy	W	Re	Au	Tl	Pb	U	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^2\text{H} \text{‰}$
103											
104											
105											
106											
107											
108	0,004	0,002	0,002	-0,020	0,002	0,019	0,005	0,890	0,390	-4,30	-26,2
109											
110											
111											
112											
113	0,002	-0,001	0,003	-0,020	0,004	0,026	0,002	0,030	1,000	-4,64	-32,2
114	0,001	-0,001	-0,001	-0,020	-0,001	-0,002	-0,001	0,030	0,057	-5,62	-33,8
115											
116											
117											
118	-0,001	-0,001	0,002	0,410	0,001	0,006	0,001	0,240	0,122	-4,65	-28,0
119	0,004	0,002	-0,001	-0,020	0,009	0,007	0,007	0,090	0,294	-4,01	-22,4
120											
121											
122											
123											
124	0,004	0,006	0,004	-0,020	0,068	0,003	0,003	0,500	0,316	-4,96	-29,0
126											
127											
128											
129											
130	0,012	-0,001	-0,001	-0,020	-0,001	-0,002	0,006	0,120	0,049	-4,06	-22,1
131											
132											
133	-0,001	-0,001	-0,001	0,050	-0,001	0,002	-0,001	0,260	0,115	-4,87	-29,7
134	0,002	0,003	-0,001	-0,020	-0,001	-0,002	0,001	0,210	0,182	-3,54	-21,0

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.13. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca
1	49-18	53		24-11-2003	23,4	6,6	2.120	393,8	51,7	59,2
2	SST-15	183	141	24-11-2003	27,9	6,8	2.940	580,8	20,9	43,2
3	SST-10	99	130	24-11-2003	29,2	6,9	3.100	196,9	15,9	52,8
4	SST-34	32	50	24-11-2003	27,4	6,8	706	492,2	30,8	70,4
5	FT-27	32	34	24-11-2003	28,1	7,0	460	98,4	56,7	20,8
6	FT-29	37	36	24-11-2003	27,4	7,0	963	147,7	25,8	33,6
7	SST-21	100	115	24-11-2003	26,6	6,8	515	98,4	30,8	19,2
8	SST-30	130	150	24-11-2003	28,1	6,7	945	236,3	12,9	20,8
9	49-16	66		25-11-2003	24,9	6,6	2.020	443,0	24,9	30,4
10	SST-35	72	125	25-11-2003	28,3	6,7	1.835	295,3	18,9	36,8
11	SST-25	75	120	25-11-2003	27,2	7,0	1.592	324,9	35,8	24,0
12	SST-31	56	116	25-11-2003	27,1	7,1	1.507	206,7	11,9	28,8
13	FBE-150	30	40	25-11-2003	26,2	6,7	464	108,3	7,0	17,6
14	FBE-151	23	30	25-11-2003	26,5	7,5	396	78,8	7,0	20,8
15	49-22	10		25-11-2003	24,3	7,1	1.911	393,8	6,0	54,4
16	51-91	8		25-11-2003	26,0	7,0	2.630	413,4	27,8	54,4
17	FBE-131	258	268	25-11-2003	25,0	6,7	400	78,8	8,9	19,2
18	FBE-113	181	209	25-11-2003	25,1	7,1	460	88,6	16,9	20,8
19	FBE-161	524	128	25-11-2003	26,1	7,6	632	128,0	16,9	22,4
20	FBE-117	525	117	25-11-2003	24,4	7,6	438	68,9	11,9	20,8
21	FBE-112	176	43	29-11-2003	23,8	7,2	793	98,4	8,9	44,8
22	51-123	166		29-11-2003	22,7	7,4	449	59,1	10,9	25,6
23	51-119	112		29-11-2003	24,5	7,5	503	68,9	26,8	32,0
24	FBE-188	91	48	29-11-2003	25,0	6,8	629	68,9	25,8	41,6
25	51-273	29		29-11-2003	26,0	7,1	1.087	137,8	19,9	60,8
26	51-201	233		29-11-2003	25,6	7,3	532	78,8	9,9	12,8
27	52-29	34		29-11-2003	27,6	6,7	2.240	187,0	23,9	79,2
28	FT-62	36	43	29-11-2003	28,8	6,9	1.629	167,3	29,8	54,4
29	SP-12	38		29-11-2003	27,3	6,8	2.520	226,4	9,9	54,4
30	FT-5	86	70	29-11-2003	28,7	7,5	769	88,6	11,9	21,6
31	FBE-145	65	58	29-11-2003	28,7	7,2	1.202	167,3	9,9	16,8
32	56-111	25		02-12-2003	25,1	7,2	1.300	147,7	8,0	40,0
33	56-44	11		02-12-2003	26,4	7,1	1.770	196,9	24,9	73,6
34	FT-40	17	60	02-12-2003	26,5	7,1	1.400	147,7	10,9	44,8
35	FT-42	37	51	02-12-2003	28,6	6,9	1.420	157,5	8,9	49,6
36	56-114	14		02-12-2003	25,6	7,4	1.720	255,9	11,9	65,6
37	FT-44	22	52	02-12-2003	31,5	7,2	2.030	285,5	24,9	52,8
38	FT-208	59	43	02-12-2003	28,4	7,4	1.260	157,5	9,9	46,4
39	FBE-157	81	35	02-12-2003	26,6	7,8	1.375	157,5	47,7	30,4
40	FBE-97	330	74	06-12-2003	21,4	7,3	1.382	196,9	18,9	9,6
41	FBE-89	389	75	06-12-2003	25,2	7,3	2.210	246,1	37,8	8,0
42	FBE-95	674	112	06-12-2003	20,4	7,7	480	49,2	10,9	30,4
43	54-436	157		06-12-2003	28,4	7,0	1.330	98,4	21,9	38,4
44	54-6	209		06-12-2003	26,2	6,9	1.100	147,7	19,9	28,8
45	FBE-116	518	166	06-12-2003	26,7	7,5	500	108,3	13,9	19,2
46	54-128	418		06-12-2003	26,7	7,5	520	88,6	21,9	22,4
47	FBE-74	356	68	06-12-2003	23,2	7,1	1.780	206,7	37,8	9,6
48	FBE-73	508	250	06-12-2003	25,9	7,9	400	49,2	12,9	22,4
49	52-42	19		07-12-2003	22,8	6,9	16.600	620,2	64,6	1.280,0
50	52-126	15		07-12-2003	24,8	6,8	7.570	600,5	48,7	417,6
51	54-456	143		07-12-2003	27,5	7,2	1.150	118,1	18,9	92,8

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.14. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca
52	52-33	73		07-12-2003	27,1	7,3	1.220	128,0	19,9	46,4
53	52-81	36		07-12-2003	24,5	7,2	2.760	187,0	28,8	204,8
54	55-76	146		07-12-2003	27,3	7,3	1.000	88,6	9,9	78,4
55	FT-81	105	51	09-12-2003	26,4	7,1	1.270	157,5	10,9	41,6
56	FT-78	2	52	09-12-2003	27,5	6,8	2.900	255,9	15,9	155,2
57	FT-14	156	50	09-12-2003	27,0	7,0	1.560	98,4	8,9	36,8
58	FT-13	218	50	09-12-2003	24,3	6,6	1.610	393,8	10,9	17,6
59	PT-29	274	91	09-12-2003	21,9	6,6	2.010	118,1	14,9	48,0
60	55-472	399		09-12-2003	24,3	6,6	460	68,9	8,9	24,0
61	55-555	550		09-12-2003	24,1	6,6	440	98,4	10,9	22,4
62	FT-23	240	50	09-12-2003	23,8	6,6	1.100	78,8	11,9	28,8
63	FT-21	370	50	09-12-2003	22,8	6,6	880	98,4	12,9	75,2
64	55-338	428		13-12-2003	24,0	7,0	1.100	88,6	6,0	76,8
65	FBE-169	32	54	13-12-2003	26,9	7,0	1.230	128,0	12,9	43,2
66	FT-63	29	63	13-12-2003	26,5	7,0	1.150	118,1	10,9	44,8
67	FT-9	23	32	13-12-2003	26,8	7,0	1.260	98,4	9,9	51,2
68	FT-12	22	50	13-12-2003	26,2	7,1	1.440	137,8	10,9	43,2
69	FT-59	25	50	13-12-2003	27,2	7,1	950	78,8	10,9	70,4
70	55-306	115		13-12-2003	25,8	7,1	950	98,4	8,9	28,8
71	58-56	180		13-12-2003	27,3	7,0	624	78,8	11,9	30,4
72	FT-202	322	97	13-12-2003	24,9	6,9	450	59,1	12,9	20,8
73	FBE-58	266	124	13-12-2003	25,0	7,0	420	78,8	15,9	14,4
74	FBE-18	169	34	13-12-2003	28,7	7,0	520	78,8	12,9	25,6
75	51-6/7/8	273		14-12-2003	26,4	7,0	410	118,1	35,8	33,6
76	FBE-170	17	51	14-12-2003	27,9	7,0	1.350	187,0	44,7	49,6
77	FBE-201	1	30	14-12-2003	27,4	7,0	1.540	177,2	44,7	80,0
78	51-253	273		14-12-2003	24,5	7,0	970	137,8	33,8	20,8
79	58-53	168		14-12-2003	27,4	7,0	420	59,1	11,9	19,2
80	58-257	99		14-12-2003	29,0	7,0	450	68,9	12,9	22,4
81	58-2	14		14-12-2003	25,0	7,0	3.410	187,0	33,8	211,2
82	58-3	69		14-12-2003	27,4	7,0	410	49,2	8,0	24,0
83	58-1	76		14-12-2003	27,8	6,9	410	39,4	8,0	25,6
84	FBE-44	42	80	19-12-2003	29,2	6,9	1.170	236,3	15,9	22,4
85	FT-353	120	70	16-12-2003	28,0	7,0	865	98,4	32,8	14,4
86	57-14	120		16-12-2003	27,4	7,0	480	68,9	9,9	24,0
87	57-19	332		16-12-2003	26,0	7,0	380	49,2	6,0	24,0
88	58-23	200		16-12-2003	27,1	7,0	410	49,2	10,9	22,4
89	FBE-1	355	151	18-12-2003	22,2	7,0	370	39,4	7,0	25,6
90	57-30	222		18-12-2003	23,9	7,0	930	108,3	14,9	43,2
91	58-9	128		18-12-2003	24,8	7,0	380	49,2	8,0	22,4
92	58-10/11	102		18-12-2003	25,0	7,0	390	39,4	8,0	24,0
93	57-31	100		18-12-2003	25,4	7,0	890	128,0	29,8	62,4
94	51-95	164		19-12-2003	22,8	7,0	590	108,3	2,0	27,2
95	FBE-56	125	105	19-12-2003	26,8	7,0	1.240	167,3	8,9	91,2
96	59-30	81		19-12-2003	27,5	7,0	1.590	236,3	12,9	41,6
97	FT-39	42	104	29-11-2003	26,6	7,0	1.290	196,9	15,9	57,6
98	48-22	19		24-11-2003	27,4	7,0	1.002	620,2	19,9	147,2
99	48-9	45		24-11-2003	27,3	7,0	1.140	846,6	29,8	169,6
100	FBE-129	23	36	25-11-2003	26,9	7,3	589	98,4	7,0	19,2
101	50-5	10		25-11-2003	26,7	7,3	703	78,8	8,0	40,0
102	48-26	63		25-11-2003	21,1	7,4	796	246,1	12,9	12,8

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.15. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Código	Alt (m)	Prof (m)	Data	T	pH	CE	Na	K	Ca
103	49-5	95		25-11-2003	24,7	7,3	1.020	226,4	20,9	25,6
104	49-19	1		25-11-2003	24,2	6,9	4.930	630,0	9,9	200,0
105	56-45	25		20-12-2003	26,4	7,0	2.640	285,5	7,0	56,8
106	FT-109	19	66	02-12-2003	26,3	6,8	8.180	590,6	14,9	880,0
107	56-87	19		20-12-2003	25,0	7,1	5.650	433,1	41,7	326,4
108	52-132	45		07-12-2003	25,7	7,3	1.130	108,3	15,9	46,4
109	51-270	201		07-12-2003	27,6	7,3	1.070	19,7	9,9	49,6
110	52-154	120		07-12-2003	23,3	7,3	1.550	236,3	11,9	19,2
111	FBE-53	237	114	09-12-2003	25,6	6,3	610	196,9	8,0	36,8
112	55-538	110		13-12-2003	27,2	7,1	620	137,8	19,9	35,2
113	FBE-138	100	30	16-12-2003	20,3	7,0	760	78,8	21,9	22,4
114	FT-227	463	88	16-12-2003	25,7	7,0	570	78,8	26,8	12,8
115	57-8	254		16-12-2003	28,3	7,0	840	88,6	17,9	22,4
116	58-22/24	202		16-12-2003	27,0	7,0	420	49,2	10,9	24,0
117	59-10	13		18-12-2003	24,5	7,0	53.500	590,6	347,9	3.496,0
118	59-24	76		19-12-2003	26,0	7,0	1.800	275,6	24,9	49,6

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹ com exceção da CE que está em µS/cm

C.16. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Mg	Si	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P
1	58,3	11,4	524,7	327	91,1	3,63	-0,21	8,3	-0,42
2	56,4	13,3	687,7	356	136,6	3,63	-0,25	6,2	-0,49
3	58,3	14,8	241,1	391	45,5	7,27		4,2	
4	112,8	16,6	836,6	271	100,2	4,85		8,3	
5	16,5	15,8	99,3	193	18,2	8,48		4,2	
6	26,2	16,9	170,2	232	18,2	3,63		4,2	
7	17,5	16,0	56,7	266	9,1	3,63		4,2	
8	10,7	13,5	141,8	334	27,3	3,63		4,2	
9	43,7	13,1	326,1	547	145,7	1,21		4,2	
10	63,2	15,8	340,3	339	72,8	4,85		8,3	
11	38,9	15,0	361,6	359	36,4	3,63		8,3	
12	26,2	14,8	148,9	293	72,8	2,42		4,2	
13	12,6	16,9	120,5	242	9,1	7,27		4,2	
14	5,8	15,8	28,4	283	18,2	6,06		4,2	
15	44,7	14,5	411,2	293	81,9	19,38		6,2	
16	47,6	17,3	673,6	332	91,1	6,06	-0,25	8,3	-0,50
17	13,6	15,8	49,6	278	9,1	2,42		0,0	
18	13,6	16,0	49,6	283	27,3	3,63		4,2	
19	14,6	18,5	70,9	278	9,1	14,54		4,2	
20	13,6	19,0	56,7	173	9,1	9,69		0,0	
21	40,8	11,8	134,7	420	27,3	2,42		4,2	
22	18,5	9,7	49,6	247	9,1	3,63		4,2	
23	24,3	11,6	56,7	244	13,7	2,42		2,1	
24	28,2	13,5	78,0	271	9,1	7,27		0,0	
25	41,8	12,9	226,9	210	36,4	7,27		0,0	
26	24,3	14,3	56,7	254	18,2	6,06		0,0	
27	111,8	11,0	524,7	217	72,8	8,48		2,1	
28	71,0	11,2	326,1	264	45,5	8,48		8,3	
29	107,9	11,8	567,2	168	72,8	8,48		8,3	
30	36,0	7,6	120,5	300	36,4	3,63		8,3	
31	43,7	12,2	170,2	295	36,4	4,85		4,2	
32	48,6	17,1	269,4	305	27,3	7,27		4,2	
33	74,8	14,3	368,7	237	36,4	9,69		8,3	
34	61,2	13,1	262,3	217	27,3	4,85		8,3	
35	62,2	13,1	241,1	276	27,3	14,54		4,2	
36	55,4	12,2	390,0	142	127,5	6,06		8,3	
37	70,0	15,0	482,1	193	36,4	4,24		0,0	
38	42,8	14,8	241,1	188	27,3	6,06		0,0	
39	49,6	11,8	255,2	115	45,5	20,59		279,0	
40	70,0	11,6	78,0	464	154,8	0,61		8,3	
41	116,6	14,1	304,9	371	81,9	23,02		4,2	
42	23,3	13,7	42,5	232	4,6	6,06		0,0	
43	47,6	12,2	127,6	256	18,2	9,69		0,0	
44	48,6	11,4	127,6	298	100,2	4,85		4,2	
45	13,6	15,6	42,5	327	54,6	7,27		0,0	
46	17,5	12,6	63,8	210	18,2	12,11		0,0	
47	104,0	13,9	177,3	644	9,1	3,63		4,2	
48	14,6	15,2	49,6	122	91,1	6,06		0,0	
49	1.139,7	7,2	5.707,5	107	9,1	0,61		624,7	
50	364,5	11,8	2.247,5	129	36,4	14,54		624,7	
51	45,7	11,4	148,9	247	254,9	8,48		0,0	

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.17. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Mg	Si	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P
52	45,7	9,9	177,3	234	54,6	8,48		4,2	
53	122,5	3,6	758,6	100	36,4	3,63		12,5	
54	35,0	8,4	120,5	220	100,2	2,42		0,0	
55	47,6	13,1	205,6	227	81,9	10,90		0,0	
56	130,2	13,5	744,5	164	45,5	8,48		16,7	
57	70,0	12,2	241,1	220	81,9	16,96		0,0	
58	47,6	11,8	205,6	613	109,3	3,63		4,2	
59	52,5	16,6	262,3	342	91,1	0,61		4,2	
60	22,4	12,4	42,5	268	9,1	4,24		0,0	
61	19,4	10,5	49,6	264	9,1	3,63		0,0	
62	49,6	11,0	113,4	232	54,6	6,06		0,0	
63	45,7	8,6	92,2	366	27,3	10,90		0,0	
64	47,6	12,6	127,6	249	36,4	18,17		0,0	
65	57,3	14,3	184,3	225	54,6	12,11		0,0	
66	50,5	15,2	156,0	217	54,6	10,90		0,0	
67	50,5	14,3	141,8	217	45,5	12,11		0,0	
68	64,2	14,8	248,2	212	36,4	6,06		0,0	
69	40,8	14,5	113,4	266	36,4	7,27		0,0	
70	40,8	13,1	120,5	242	18,2	4,85		2,1	
71	30,1	12,2	92,2	220	9,1	3,63		2,1	
72	14,6	14,3	42,5	171	9,1	2,42		0,0	
73	14,6	9,1	42,5	200	18,2	2,42		0,0	
74	23,3	14,3	70,9	220	18,2	3,63		0,0	
75	21,4	13,9	70,9	281	27,3	10,90		0,0	
76	53,5	13,5	156,0	430	81,9	2,42		0,0	
77	66,1	18,5	248,2	344	100,2	8,48		2,1	
78	36,0	15,8	99,3	330	27,3	4,85		0,0	
79	18,5	13,5	56,7	183	27,3	3,63		0,0	
80	16,5	12,2	49,6	207	27,3	1,21		0,0	
81	195,4	14,8	900,4	181	63,7	0,61		4,2	
82	19,4	13,1	49,6	198	9,1	3,63		0,0	
83	17,5	13,5	49,6	164	9,1	2,42		0,0	
84	14,6	9,1	212,7	234	27,3	6,06	-0,10	0,0	-0,19
85	37,9	11,6	92,2	286	27,3	3,63		2,1	
86	20,4	11,0	49,6	193	18,2	4,85		4,2	
87	20,4	15,6	28,4	188	18,2	1,21		2,1	
88	15,6	11,0	42,5	186	9,1	2,42		4,2	
89	13,6	14,3	35,5	173	13,7	2,42		0,0	
90	36,9	6,5	163,1	181	27,3	8,48		8,3	
91	14,6	10,7	42,5	193	9,1	1,21		4,2	
92	14,6	8,9	42,5	195	9,1	2,42		2,1	
93	26,2	8,9	134,7	315	27,3	2,42		25,0	
94	31,1	15,8	120,5	164	36,4	4,85		4,2	
95	42,8	15,2	212,7	373	45,5	6,06		0,0	
96	50,5	14,3	283,6	256	45,5	9,69		4,2	
97	61,2	16,4	219,8	405	45,5	3,63		4,2	
98	142,9	12,6	1.276,2	317	136,6	1,82		12,5	
99	223,6	11,4	1.588,2	290	173,0	0,61		12,5	
100	20,4	18,8	42,5	261	18,2	2,42		4,2	
101	22,4	14,8	42,5	237	27,3	9,69		4,2	
102	9,7	10,5	205,6	159	72,8	9,69	-0,07	8,3	-0,13

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção

C.18. Resultados das análises químicas da 2.^a campanha (continuação)

ID_ISE	Mg	Si	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P
103	24,3	14,3	177,3	312	45,5	9,69		4,2	
104	167,2	14,3	1.410,9	295	182,1	3,63		8,3	
105	108,9	18,5	659,4	171	72,8	9,69		4,2	
106	396,1	13,1	2.623,3	159	364,2	6,06		624,7	
107	284,8	10,1	1.701,6	115	45,5	4,85		999,4	
108	56,4	15,8	148,9	281	182,1	10,90	-0,10	0,0	-0,20
109	40,8	12,6	141,8	146	54,6	10,90		37,5	
110	65,1	16,0	219,8	447	27,3	3,63		4,2	
111	29,2	13,1	170,2	242	54,6	14,54		0,0	
112	59,3	14,3	184,3	256	45,5	12,11		2,1	
113	29,2	13,7	63,8	210	18,2	13,33	-0,06	0,0	-0,13
114	21,4	11,6	28,4	278	9,1	1,21		0,0	
115	40,8	11,4	127,6	312	9,1	0,00		0,0	
116	16,5	13,1	42,5	188	18,2	2,42		4,2	
117	3.295,1	0,8	14.002,8	110	91,1	14,54		41,6	
118	66,1	13,1	382,9	227	127,5	0,00	-0,17	2,1	-0,33

NOTA: (1) Todos os dados são em mg L⁻¹

(2) O símbolo - antes do número indica valores abaixo do limite de detecção