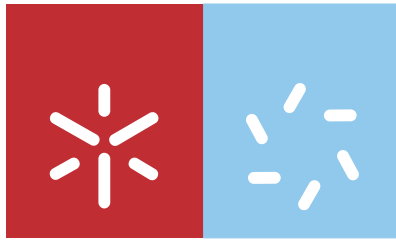


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Elizandra Maria Ourico Garcia **GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ILHA DO MAIO
(CABO VERDE): O CONTRIBUTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Elizandra Maria Ourico Garcia

**GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS
HÍDRICOS DA ILHA DO MAIO (CABO VERDE):
O CONTRIBUTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Elizandra Maria Ourico Garcia

**GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS
HÍDRICOS DA ILHA DO MAIO (CABO VERDE):
O CONTRIBUTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos

Trabalho efectuado sob a orientação do
Doutor Alberto da Silva Lima

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A terminar esta etapa muito importante na minha vida resta-me registar os meus sinceros agradecimentos às individualidades que, de várias formas, contribuíram para que se tornasse numa realidade.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de estar no mundo, sobretudo pela saúde e coragem que me tem dado durante os momentos difíceis.

O meu apreço e eterna gratidão ao meu professor e orientador Doutor Alberto da Silva Lima, pela atenção, orientação, boa vontade, amizade, disponibilidade e sobretudo pela paciência que sempre teve comigo, acompanhando-me a cada passo, no intuito do meu profundo conhecimento e completo domínio das ferramentas utilizadas ao longo deste trabalho. Agradeço-lhe, igualmente, a sua ida a Cabo Verde para me acompanhar nos trabalhos de campo, pelo transporte das amostras para Portugal e sobretudo pelo financiamento do envio das restantes amostras colhidas nos meses de Agosto e Setembro e suas análises.

Ao Doutor Alberto da Mota Gomes, pela orientação, amizade, esforço, empenho, pela documentação fornecida e, sobretudo, pela ajuda financeira que me proporcionou durante o meu segundo ano de mestrado. Aproveito o momento para agradecer aos seus familiares, de um modo especial à sua esposa Lúcia e irmã Nela, pela amizade e apoio prestado.

Aos meus pais, e de uma forma muito especial à minha mãe e tia, **Maria Gorete e Maria de Fátima**, por terem acompanhado a minha vida e apostado na minha formação pessoal e profissional. A vós eu devo tudo o que tenho e sou. Muito obrigada.

É nesta ordem de ideias que agradeço a toda minha família de modo geral e em particular ao meu irmão e afilhado Ivandro, por me acompanhar sempre, dando-me coragem nos momentos difíceis, zelando sempre pelo meu bem-estar.

Ao meu irmão Elizandro que, apesar da distância, sempre me deu força e coragem, ajudando-me a reunir a documentação para que esta tese se realizasse. Agradeço-lhe pela sua protecção, amor e carinho que sempre me tem dado.

À Janet, que apesar de pouco tempo de convivência, mostrou ser uma pessoa amiga e muito especial, dando-me muita força. Pela nossa alegre e tranquila convivência, pela energia positiva e pelo carinho.

Aos meus primos, Edilson e Edmilson, por todo o acompanhamento e sobretudo por fazerem parte da minha vida.

Ao irmão Lizito, à Neusa e familiares, pelos telefonemas, força, incentivo e especialmente pela nossa amizade.

À professora Dr.^a Isaura, agradeço todo o apoio que me permitiu abraçar uma carreira que, sendo exigente, a torna ainda mais querida.

Aos meus colegas de mestrado, e em particular ao meu colega e amigo Marcelino, pelo companheirismo, colaboração, trabalhos realizados em grupo e a todos os professores que comigo partilharam o seu saber.

À associação ANPIG, em particular à Bila Santos, Celestino Afonso e Jeremias Cabral e a todos os meus amigos que me foram perguntando pelo trabalho e que me foram estimulando pela confiança em mim depositada, fazendo-me acreditar que era possível chegar ao fim com sucesso.

À D^a Eva do LNEG, Porto, agradeço-lhe pelo fornecimento da documentação.

Os meus apreços ao Delegado da ilha do Maio, Sr. Carlos Dias, pela colaboração e, sobretudo, pela recolha e envio das amostras.

Agradeço ao Senhor Presidente da Câmara de Santa Cruz, pelo apoio fornecido.

À Dra. Lúcia Guise do Laboratório de Águas, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, agradeço a capacidade e o rigor das análises realizadas.

Aos Doutores José Manuel Pereira, Romualdo Correia e Dr. Belito pela colaboração

À "Zona Cancelo", por ter sido a zona que me acolheu em seu berço.

Por último, mas porque está em primeiro, gostaria de agradecer a um companheiro, a alguém cuja amizade e amor espero nunca perder na vida. Quero agradecer a alegria, a energia positiva, a força, o amor, o incentivo. Elton Alves; és muito especial.

Há muito mais a quem agradecer... A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos, o meu reconhecido e carinhoso muito obrigada!

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito das actividades do Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos da Universidade do Minho, apoiadas pelo programa plurianual da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, financiado por verbas da União Europeia (Fundos Estruturais - FEDER) e do Orçamento Geral do Estado.

RESUMO

Cabo Verde é constituído por 10 ilhas, sendo a ilha do Maio a mais antiga do arquipélago, com uma área de 269 km², tendo como comprimento máximo 24100 m, uma largura máxima de 16300 m e uma população total de 6740 habitantes.

No que concerne à geomorfologia e geologia, a ilha é considerada plana e é composta por formações eruptivas e sedimentares, sendo as formações sedimentares dominantes na ilha. Apresenta as formações mais antigas de Cabo Verde, de idade jurássica e cretácica. No entanto, não apresenta as formações eruptivas mais recentes como as restantes ilhas.

A ilha do Maio enquadra-se num clima do tipo árido e semiárido, com uma temperatura média de 24.5 °C e uma precipitação anual de 125.4 mm.

Estimativas efectuadas com base no modelo do balanço hídrico sequencial diário mostram que cerca de 7% da precipitação corresponde a escoamento superficial e 14.1% a escoamento subterrâneo. Pela aplicação deste modelo e do método do balanço químico do ião cloreto, os recursos hídricos subterrâneos renováveis anualmente na ilha do Maio estão, em ano médio, compreendidos entre 3.44 x 10⁶ m³ e 4.76 x 10⁶ m³. Por sua vez, o escoamento total é estimado em 7.8 x 10⁶ m³ anuais, o que equivale a cerca de 21 400 m³/dia.

O escoamento subterrâneo na ilha do Maio faz-se globalmente de um modo centrífugo a partir das elevações do maciço central. O gradiente hidráulico assume valores entre 0.05% e 2.9%, sendo que o valor mais baixo ocorre no sector norte da ilha, o que favorece o fenómeno de intrusão salina.

Relativamente à qualidade da água, verifica-se que as amostras recolhidas correspondem a águas muito mineralizadas, com valores de condutividade eléctrica compreendidos entre 832 µS/cm e 7730 µS/cm. Por sua vez, os valores de TDS estão compreendidos entre 705.8 mg/L e 4210.4 mg/L. Nestas condições, as águas subterrâneas analisadas podem ser consideradas águas salobras.

A fácies hidroquímica dominante é a cloretada sódica, sendo que grande parte das amostras pode ser considerada cloretada-bicarbonatada sódica.

Admitindo que a amostragem efectuada tem significado estatístico, poderá dizer-se que, a nível físico-químico, cerca de 20% das águas subterrâneas são próprias para o consumo humano.

No que respeita à utilização da água para rega, as águas analisadas apresentam baixo a alto perigo de alcalinização do solo e alto a muito alto perigo de salinização.

Em síntese, pode concluir-se que, não obstante o carácter árido da ilha do Maio, a mesma apresenta um potencial de recursos hídricos não negligenciável, eventualmente suficiente para suprir as necessidades hídricas da população. No entanto, o estudo desenvolvido mostra a necessidade de implementar medidas susceptíveis de proporcionarem um aproveitamento sustentado dos recursos hídricos, no quadro da gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio.

ABSTRACT

Maio is the most ancient island of Cape Verde archipelago, which constituted by nine inhabited island and one uninhabited one. Maio Island is 24100 m length and 16300 m width, covering an area of 269 square km.

Regarding the geomorphology and the geology, Maio Island is one of the flat islands of the archipelago and is composed by both eruptive and sedimentary formations, being the last ones dominants in the island. It presents the most ancient formations of Cape Verde, of Jurassic and Cretaceous age. However, it does not present the most recent eruptive formations as the remaining islands.

Maio Island has an arid and semiarid climate, with a mean temperature of 24.5 °C and an annual mean rainfall of 125.4 mm.

Estimates performed on the water daily budget model show that nearly 7% of the precipitation corresponds to runoff and 14.1% to groundwater flow. From the use of this model and the chloride chemical mass balance, annual groundwater resources in Maio Island are comprised between $4.76 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $3.44 \times 10^6 \text{ m}^3$. Global water resources are estimated in $7.8 \times 10^6 \text{ m}^3$, i.e., 21 400 m^3/day .

Groundwater flow pattern in the Maio Island takes place in a centrifugal manner starting at the elevations of the central massif. The hydraulic gradient ranges from 0.05% to 2.9%, while the lowest value occurs in the northern sector of the island, which favors the seawater intrusion.

Regarding water quality, groundwater samples are of high salinity, showing electrical conductivity values between 832 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 7730 $\mu\text{S}/\text{cm}$. TDS values are between 705.8 mg/L and 4210.4 mg/L. Accordingly, groundwater samples can be considered brackish waters.

Generally, groundwater samples are included in the sodium-chloride hydrochemical facies. However, some samples can be considered chloride-bicarbonate-sodium rich.

Assuming that the sampling has statistical significance, it can be stated that about 20% of groundwater is suitable for human consumption.

Regarding the use of water for irrigation, the water samples show low to high risk of soil alkalization and high to very high risk of salinization.

In summary, it can be concluded that, despite the arid nature of the Maio Island, it presents a water resources potential not negligible, possibly enough to meet the water needs of the population. However, the study shows the need to implement measures that could provide a sustainable exploitation of water resources in the context of the integrated management of Maio Island water resources.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE QUADROS	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. ENQUADRAMENTO	3
2.1. Localização	3
2.2 Clima	7
2.3 Geologia.....	15
2.3.1 Origem do Arquipélago	15
2.3.2 Sequência vulcano-sedimentar.....	18
2.3.3 Geologia da ilha do Maio.....	22
2.4. Geomorfologia.....	33
2.5. Recursos Hídricos	41
2.6. Unidades Hidrogeológicas.....	44
2.6.1. Unidade de Base	44
2.6.2. Unidade Intermédia.....	44
2.6.3. Unidade Recente	45
CAPÍTULO 3 HIDROCLIMATOLOGIA	46
3.1. Precipitação	48
3.1.1. Complemento de séries	50
3.1.2. Verificação da consistência de dados e sua correcção	50
3.1.3. Precipitação média anual	55
3.1.4. Variabilidade interanual.....	58
3.1.5. Distribuição intra-anual da precipitação	62
3.1.6. Distribuição espacial da precipitação.....	62
3.2. Temperatura.....	66
3.3. Termopluviometria	68
3.4. Evapotranspiração	68

3.4.1. Evapotranspiração potencial	69
3.4.2. Evapotranspiração real	71
3.5. Balanço hídrico e estimativa de recursos	74
3.5.1. Escoamento total	79
3.5.2. Escoamento Superficial	80
3.5.3. Recursos hídricos subterrâneos	81
3.5.4. Balanço de cloretos	82
CAPÍTULO 4 HIDROGEOLOGIA	88
4.1. Inventário e selecção de pontos de água	89
4.2. Escoamento Subterrâneo	94
4.3. Hidrogeoquímica	97
4.3.1. Verificação da qualidade dos dados analíticos	98
4.3.2. Caracterização Hidrogeoquímica	102
4.3.2.1. Parâmetros globais	102
4.3.2.2. Componente maioritária	109
4.3.2.3. Componente vestigial	114
4.3.3 Fácies hidrogeoquímicas	116
4.3.4 Qualidade da água	118
4.3.4.1. Qualidade da água para consumo humano	118
4.3.4.2. Qualidade da água para uso agrícola	124
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
ANEXO	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde	3
Figura 2.2. Distribuição das ilhas e dos ilhéus que compõem o arquipélago de Cabo Verde, destacando-se a ilha do Maio.....	4
Figura 2.3. Principais povoações da ilha do Maio	6
Figura 2.4. Massas de ar predominantes na zona de Cabo Verde, segundo Fonseca (1956), <i>in</i> Teixeira e Barbosa (1958)	8
Figura 2.5. Distribuição teórica da humidade numa ilha cónica na situação geográfica de Cabo Verde (extraído de Teixeira e Barbosa (1958)).....	10
Figura 2.6. Esquema de distribuição da precipitação anual sobre um continente imaginário suas áreas oceânicas adjuntas, segundo Strahler e Strahler, (1989).....	12
Figura 2.7. Regime térmico típico de um clima tropical seco (adaptado de Strahler e Strahler, (1989))	13.
Figura 2.8. Distribuição dos valores da temperatura os longo do ano na ilha do Maio. (estação de Calheta/Monte Vermelho).....	14
Figura 2.9. Distribuição das ilhas de Cabo Verde segundo os três pedestais (adaptado de Bebian, 1932).....	15
Figura 2.10. Representação esquemática da formação e evolução da ilha do Maio. A - Instalação do diapiro com fracturação, derrames lávicos e intrusões filonianas; B - Acentuação do levantamento das camadas; C - Estado actual após erosão intensa. (E – magma essexítico; J – sedimentos jurássicos; C – sedimentos cretácicos). Adaptado de Serralheiro (1970).....	23
Figura 2.11. Carta geológica da ilha do Maio. A legenda desta Carta está representada na Figura 2.12. Adaptado de Serralheiro (1970).....	27
Figura 2.12. Legenda da Carta Geológica da ilha do Maio (Figura 2.11)	28.
Figura 2.13. Cortes geológicos da ilha do Maio, de acordo com a localização indicada no mapa. (1-Formação do Monte Batalha; 2-Formação do Morro; 3-Formação Carqueijo; 4-Formação Coruja; 5-Formação Casas Velhas; 6-Formação de Pedro Vaz; 7-Formação de Pedra Malhada; 8-Formação do Monte Penoso; 9-Cobertura Indiferenciada; E-Essexitos; S-Sienitos; f-Falha; t-Cavalgamento Adaptado de Stillman <i>et al.</i> (1982)	31
Figura 2.14. Corte geológico esquemático da ilha do Maio e do fundo oceânico adjacente. Adaptado de Stillman <i>et al.</i> (1982)	32
Figura 2.15. Aspecto geral da morfologia da ilha do Maio, assinalando-se as linhas de base dos perfis topográficos realizados (imagem adaptada a partir do Google Earth).....	35
Figura 2.16. Perfil topográfico AA'. Exagero vertical de 14 X.....	36

Figura 2.17. Perfil topográfico BB'. Exagero vertical de 14 X	37
Figura 2.18. Perfil topográfico CC'. Exagero vertical de 14 X	37
Figura 2.19. Perfil topográfico DD'. Exagero vertical de 14 X	38
Figura 2.20. Perfil topográfico EE'. Exagero vertical de 14 X	38
Figura 2.21. Perfil topográfico FF'. Exagero vertical de 14 X	39
Figura 2.22. Perfil topográfico GG'. Exagero vertical de 14 X	39
Figura 2.23. Perfil topográfico HH'. Exagero vertical de 14 X	40
Figura 2.24. Perfil topográfico II'. Exagero vertical de 14 X	40
Figura 2.25. Formas do abastecimento da água na ilha do Maio por localidades.....	43
Figura 3.1. Aspecto de uma estação udométrica incluída na rede climatológica da ilha do Maio.....	46
Figura 3.2. Rede climatológica da ilha do Maio	47
Figura 3.3. Diagramas de dupla acumulação (valores em mm)	54
Figura 3.4. Mapa de polígonos de Thiessen da ilha do Maio.....	57
Figura 3.5. Precipitações anuais nas 11 estações estudadas com indicação da média e dos valores a 75% e 60% em relação à média.....	59
Figura 3.6. Anos secos e muito secos nas diferentes estações da ilha do Maio no período de 1978 a 2009 (N - número das estações)	62
Figura 3.7. Distribuição da precipitação média mensal nas estações de Calheta, Vila do Maio, Pedro Vaz, Pilão Cão, Barreiro, Cascabulho, Centro Zootécnico, Figueira Horta, Morrinho, Morro e Praia Gonçalo. Os meses encontram-se apresentados pelas respectivas letras iniciais	63
Figura 3.8. Mapa de isoietas da ilha do Maio	65
Figura 3.9. Diagrama termopluiométrico da estação de Calheta Monte Vermelho	68
Figura 3.10. Distribuição dos valores de evapotranspiração potencial e da precipitação na área de influência da estação de Calheta Monte Vermelho	73
Figura 3.11. Distribuição da precipitação diária ao longo do ano de 2009 na estação climatológica da Calheta Monte Vermelho	77
Figura 3.12. Distribuição da precipitação diária, infiltração e escorrência ao longo do ano de 2009 na estação climatológica da Calheta Monte Vermelho.....	78
Figura 3.13. Concentração média de cloreto na precipitação (Cp) das diferentes estações da ilha do Maio	85
Figura 3.14. Distribuição dos teores de cloreto nas amostras de chuva recolhidas na ilha do Maio.....	87

Figura 4.1. Distribuição espacial dos pontos de água seleccionados na ilha do Maio.....	90
Figura 4.2. Distribuição da profundidade dos poços da ilha do Maio seleccionados no âmbito deste estudo	92
Figura 4.3. Aspecto do poço Mp3 na localidade de Praia Gonçalo, ilha do Maio.....	92
Figura 4.4. Aspecto do poço Mp9 nas proximidades de Figueira da Horta, da ilha do Maio.....	93
Figura 4.5. Aspecto do furo Mp10 na localidade Pilão Cão, ilha do Maio.....	93
Figura 4.6. Aspecto de um charco correspondente ao ponto de água Mp17 localizado entre a Vila do Maio e Figueira Horta.....	94
Figura 4.7. Mapa do nível freático da ilha do Maio e o seu respectivo derrame	95
Figura 4.8. Configuração provável da interface água doce/água salgada sob a ilha do Maio segundo a orientação norte-sul entre Ponta Cais e Ribeira de Cumiassa	97
Figura 4.9. Distribuição dos Erros de Balanço de Cargas das amostras da ilha do Maio.....	100
Figura 4.10. Diagrama de dispersão das razões Cat/CE e An/CE.....	101
Figura 4.11. Relação entre o Total de Sólidos Dissolvidos (TSD) e a Condutividade Eléctrica (CE) das águas analisadas	102
Figura 4.12. Distribuição da condutividade eléctrica dos pontos de água em estudo.....	103
Figura 4.13. Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica medidos no campo (CE_C) e no laboratório (CE_L)	104
Figura 4.14. Distribuição do pH dos pontos de água em estudo medido no campo	104
Figura 4.15. Distribuição dos valores de pH medidos no campo (pH_c) e no laboratório (pH_L)	105
Figura 4.16. Distribuição de Eh dos pontos de água em estudo.....	106
Figura 4.17. Aspecto do fenómeno de eutofização observado no ponto Mp4.....	106
Figura 4.18. Distribuição dos valores de temperatura dos pontos de água em estudo.....	107
Figura 4.19. Concentração dos Totais de Sólidos Dissolvidos calculados (TDS _c) nas amostras de água colhidas na ilha do Maio	108
Figura 4.20. Concentrações dos catiões nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.....	109
Figura 4.21. Concentrações dos aniões nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.....	110
Figura 4.22. Concentrações de CO_3^{2-} e NO_2^- nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.....	112
Figura 4.23. Diagrama de dispersão da concentração do cloreto em função da condutividade eléctrica das amostras em estudo.....	112

Figura 4.24. Distribuição da sílica nas amostras de água colhidas na ilha do Maio	113
Figura 4.25. Concentração média dos elementos vestigiais nas amostras em estudo	116
Figura 4.26. Diagrama de Piper das amostras em estudo.....	117
Figura 4.27. Diagrama de Schöeller-Berkaloff das amostras em estudo	118
Figura 4.28. Número de amostras que ultrapassam os valores paramétricos definidos no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto	122
Figura 4.29. Número de parâmetros que excedem os valores paramétricos em cada uma das amostras incluídas no presente estudo	123
Figura 4.30. Qualidade química das águas para uso agrícola	126

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. Dimensões das ilhas e ilhéus do Arquipélago de Cabo Verde (dados obtidos em Bebiano, 1932).....	5
Quadro 2.2. População residente da ilha do Maio (dados obtidos em INE (2000))	7
Quadro 2.3. Precipitações médias anuais nas ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, segundo INE (2000)	12
Quadro 2.4. Dimensões das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde e altitude dos respectivos pontos culminantes (dados obtidos em Bebiano, 1932).....	33
Quadro 2.5. Recursos hídricos das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde em milhões de m ³ /ano. Dados obtidos em Mota Gomes (2007).....	41
Quadro 3.1. Coordenadas das estações que constituem a rede climatológica da ilha do Maio (dados fornecidos pelo INMG)	48
Quadro 3.2. Dados pluviométricos anuais disponíveis nas estações da rede climatológica da ilha do Maio	49
Quadro 3.3. Séries pluviométricas completas relativas ao período de 1978 a 2009 (\bar{x} - média; Med - mediana; s - desvio padrão, c.v. - coeficiente de variação).....	50
Quadro 3.4. Dados relativos ao complemento das séries pluviométricas.....	51
Quadro 3.5. Séries de precipitação completas e corrigidas. (Valores em mm)	55
Quadro 3.6. Precipitação média anual da ilha do Maio calculada pelo método de Thiessen.....	58
Quadro 3.7. Anos secos e muito secos nas diferentes estações da ilha do Maio no período de 1978 a 2009	61
Quadro 3.8. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas mínimas da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998	66
Quadro 3.9. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas máximas da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998	67
Quadro 3.10. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas média da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998	67
Quadro 3.11. Valores da evapotranspiração potencial da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho determinados pelo método de Thornthwaite.....	70
Quadro 3.12. Resultados do cálculo de evapotranspiração real na área de influência da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho	74
Quadro 3.13. Distribuição da precipitação, escoamento superficial e infiltração ao longo do ano de 2009 em diversos locais da ilha do Maio.....	79
Quadro 3.14. Concentração de cloreto (Cl ⁻) e condutividade eléctrica (C.E) nas águas das chuvas em 2010 relativamente às estações em estudo.....	86

Quadro 4.1. Pontos de água seleccionados na ilha do Maio. Referenciação UTM/WGS 84	91
Quadro 4.2. Estatística descritiva dos valores dos catiões das amostras de águas na ilha do Maio (Valores em meq/L)	110
Quadro 4.3. Estatística descritiva dos valores dos aniões das amostras de águas na ilha do Maio (Valores em meq/L)	111
Quadro 4.4. Elementos químicos apresentados nas amostras de água e os seus respectivos limites de detecção (valores em $\mu\text{g/L}$)	114
Quadro 4.5. Parâmetros estatísticos relativos a alguns elementos vestigiais (Valores em $\mu\text{g/L}$)	115
Quadro 4.6. Avaliação da adequação das águas subterrâneas em estudo ao consumo humano, de acordo com o Decreto – Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. C.E. - Condutividade de Eléctrica; V.P. - Valor Paramétrico. Am – amostras. * Embora não esteja fixado um valor paramétrico, não é desejável ultrapassar o valor referido.....	119
Quadro 4.7. Qualidade das águas em estudo para uso agrícola	125

CAPÍTULO 1.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o recurso natural água vem sendo cada vez mais disputado, tanto em quantidade quanto em qualidade, principalmente em razão do acentuado crescimento demográfico e do próprio desenvolvimento económico.

Tendo em consideração a crescente utilização de águas subterrâneas para o abastecimento público, a modelação hidrogeológica vem continuamente ganhando importância como sendo uma ferramenta insubstituível de suporte a decisões inerentes à gestão desse recurso hídrico.

O conhecimento, ainda que incipiente, da hidrogeologia de Cabo Verde vem demonstrar as características peculiares dos meios vulcânicos, nomeadamente a sua heterogeneidade e anisotropia. Simultaneamente, para além dos aspectos geológicos, as características climáticas regionais, áridas a semi-áridas, concorrem para a existência de recursos hídricos muito limitados, cujo aproveitamento terá de ser feito num quadro de gestão integrada, incluindo as águas subterrâneas, as águas superficiais, a dessalinização da água do mar e a reutilização de águas residuais.

Trabalhos recentes sobre a ilha de Santiago (Gomes, 2007; Pina, 2009) puseram em evidência a limitada recarga aquífera e o risco de degradação dos recursos hídricos subterrâneos regionais, devido a fenómenos de intrusão salina e à contaminação agrícola. No entanto, o conhecimento hidrogeológico sobre as restantes ilhas do arquipélago é praticamente inexistente. Para além de inventários de pontos de água, não são conhecidos os recursos hídricos subterrâneos, quer do ponto de vista quantitativo, quer do ponto de vista qualitativo.

Com o presente trabalho pretende colmatar-se, ainda que parcialmente, aquela lacuna em relação à ilha do Maio. Para o efeito, foram desenvolvidos estudos que visaram a caracterização hidrogeológica da ilha, permitindo definir o papel das águas subterrâneas numa estratégia de gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio.

Para a concretização daquele objectivo geral, definem-se os seguintes objectivos operacionais:

- Caracterizar a geologia da ilha do Maio, realçando os condicionantes de nível hidrogeológico;

- Estabelecer o balanço hídrico médio anual da ilha do Maio;
- Quantificar os recursos hídricos totais, superficiais e subterrâneos;
- Avaliar a qualidade das águas subterrâneas;
- Propor um modelo conceptual preliminar do funcionamento hidrogeológico da ilha do Maio;
- Definir o papel das águas subterrâneas num quadro de gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio.

Para a realização deste trabalho recorreu-se, para além de uma revisão bibliográfica, à recolha de informação de natureza hidrometeorológica, efectuou-se um inventário de pontos de água e realizaram-se colheitas de amostras, tanto de precipitação como das águas subterrâneas, em pontos seleccionados. Estas amostras foram submetidas a análises físico-químicas completas.

As metodologias adoptadas permitiram a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da ilha do Maio, nas suas vertentes quantitativa e qualitativa.

O presente trabalho encontra-se dividido de forma a englobar temas geológicos e hidrogeológicos importantes para a abordagem pretendida. Na caracterização da área (Capítulo 2), apresentam-se os contextos geológicos, geomorfológicos, climatológicos e hidrogeológicos regionais, tendo como referencia trabalhos preexistentes, apresentando também alguns dados obtidos no âmbito desta tese. Em seguida, apresenta-se a hidroclimatologia (Capítulo 3), dando ênfase ao estudo da precipitação e da temperatura, elementos fundamentais para a elaboração do balanço hídrico. No Capítulo 4 (Hidrogeologia) traçam-se os aspectos gerais do escoamento subterrâneo e definem-se as características físico-químicas das águas subterrâneas, salientando os aspectos qualitativos das mesmas no que respeita à sua utilização para o consumo humano e para a agricultura. Finalmente, no Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões do trabalho efectuado e propõem-se acções complementares visando a concretização de uma estratégia de gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio.

A combinação de vários factores, tais como, a localização da própria área em estudo e as suas características intrínsecas, justifica a escolha da ilha do Maio para o desenvolvimento deste trabalho.

CAPÍTULO 2.

ENQUADRAMENTO

2.1. Localização

O Arquipélago de Cabo Verde fica localizado na margem Oriental do Atlântico Norte, a cerca de 450 km da Costa Ocidental da África e a cerca de 1400 km a SSW das ilhas Canárias (Figura 2.1) É limitado pelos paralelos $17^{\circ} 13'$ (Ponta Cais dos Fortes, Ilha de St^o Antão) e $14^{\circ} 48'$ de latitude Norte (Ponta de Nho Martinho, Ilha Brava) e pelos meridianos de $22^{\circ} 42'$ de longitude Oeste de Greenwich (ilhéu Baluarte, Ilha da Boa Vista) e $25^{\circ} 22'$ (Ponta Chã de Mangrado, Ilha de St^o Antão).

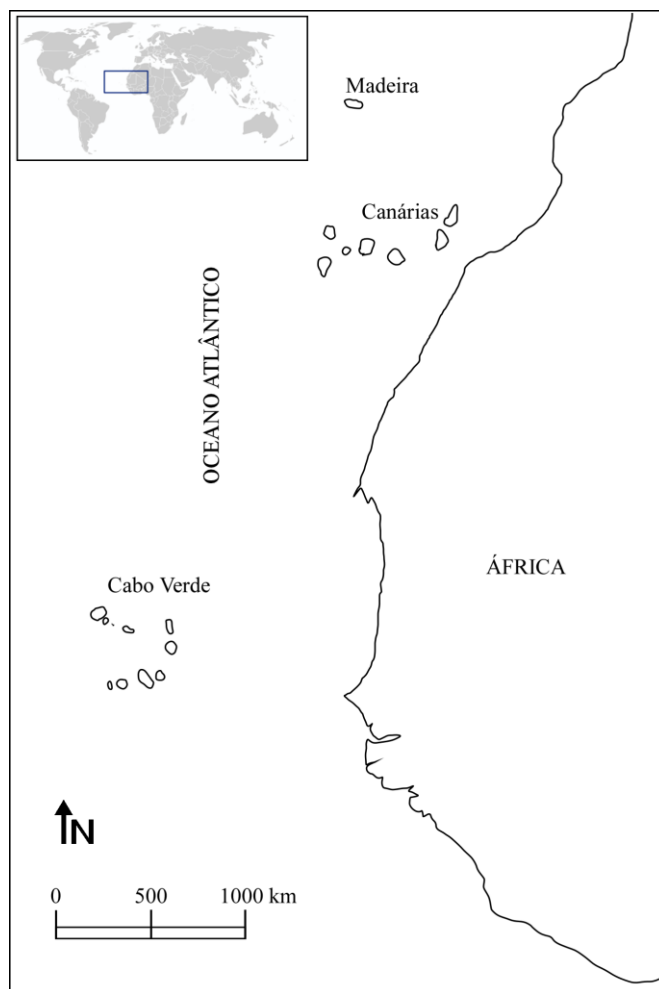


Figura 2.1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde.

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por 15 ilhas e ilhéus distribuídos em forma de ferradura com abertura para ocidente (Figura 2.2). Em função dos ventos

dominantes (os alísios do nordeste) é usual dividir o arquipélago de Cabo Verde em dois grupos: (i) Barlavento e (ii) Sotavento. O primeiro é constituído pelas ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boa Vista. O grupo do Sotavento inclui, para além da ilha do Maio, as ilhas de Santiago, Fogo e Brava (Figura 2.2).

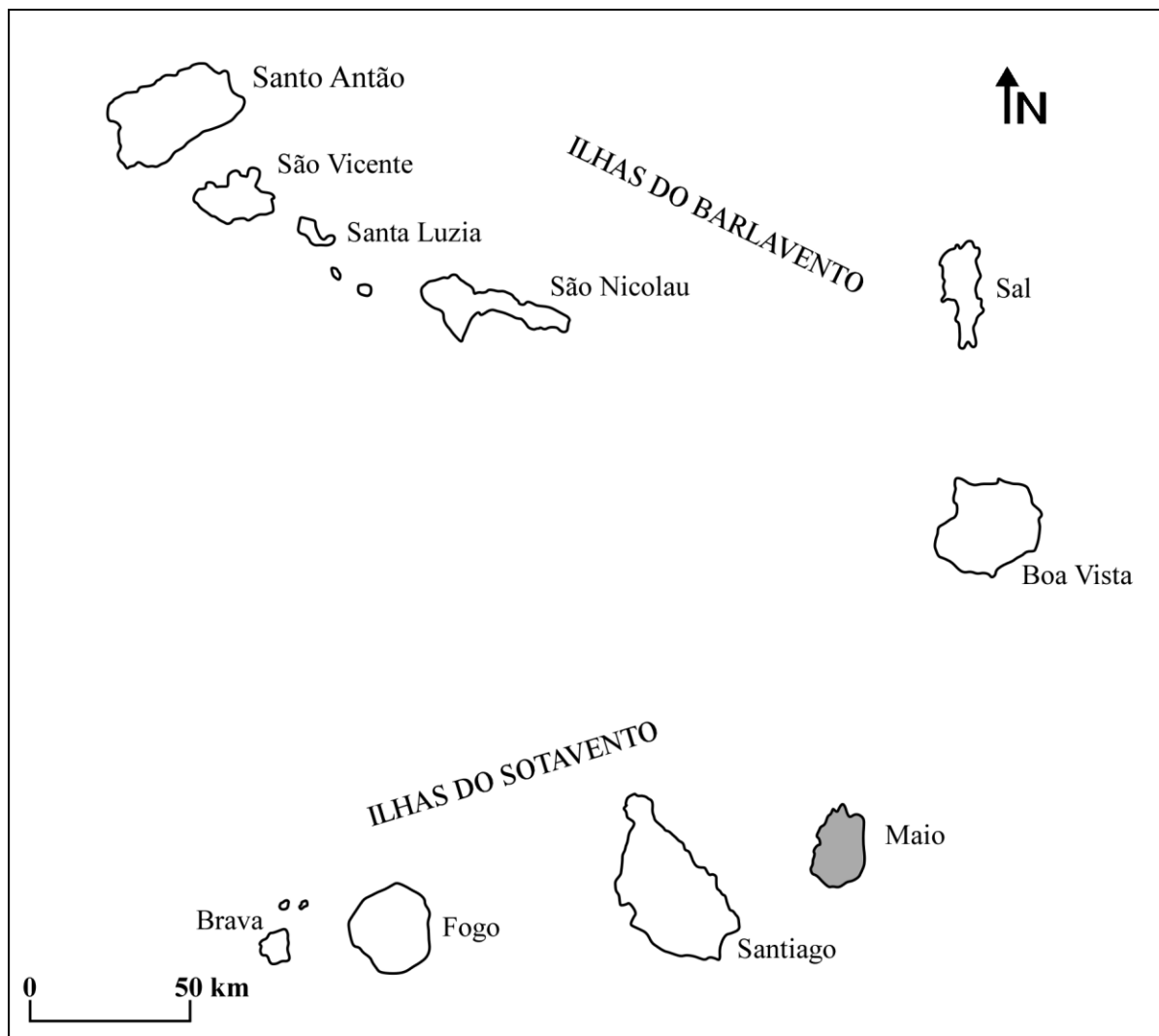


Figura 2.2. Distribuição das ilhas e dos ilhéus que compõem o arquipélago de Cabo Verde, destacando-se a ilha do Maio.

A Ilha do Maio situa-se a sul da ilha de Boa Vista, a 25 km a este de Santiago e desenvolve-se entre os paralelos $15^{\circ} 7'$ e $15^{\circ} 20'$ de latitude norte e entre os meridianos $23^{\circ} 5'$ e $23^{\circ} 15'$ de longitude oeste, com um comprimento máximo de 24100 m entre a ponta de Cais do Norte, a norte, e a ponta Jampala, a sul, e uma largura máxima de 16300 m, entre a ponta Banconi, a este, e a ponta dos Flamengos, a oeste, sendo a superfície total de

269 km² (Bebiano, 1932). O vértice geodésico do Monte Penoso assinala o ponto mais elevado da ilha onde se atinge uma altitude de 436 m.

No Quadro 2.1 apresenta-se uma síntese das dimensões das ilhas e ilhéus do arquipélago.

Quadro 2.1. Dimensões das ilhas e ilhéus do Arquipélago de Cabo Verde (dados obtidos em Bebiano, 1932).

Ilhas e ilhéus	Superfície (Km ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Altitude (m)
St.º Antão	779	42750	23970	1978
S. Vicente	227	24250	16250	725
St.ª Luzia	35	12370	5350	395
I. Branco	3	3975	1270	327
S. Nicolau	343	44500	22000	1304
Sal	216	29700	11800	406
Boavista	620	28900	30800	387
Maio	269	24100	16300	436
Santiago	991	54900	28800	1394
Fogo	476	26300	23900	2829
Brava	64	10500	9310	976
I. Grande	2	2350	1850	95
I. Luís Carneiro	0.22	1950	500	32
I. de Cima	1.15	2400	750	77

Em termos administrativos, a ilha do Maio tem apenas um concelho e uma única freguesia, a de Nossa Senhora da Luz, e é constituída pelas seguintes povoações: Barreiro, Calheta, Cascabulho, Figueira Horta, Figueira Seca, Morrinho, Morro, Pedro Vaz, Pilão Cão, Alcatraz, Praia Gonçalo, Ribeira Dom João e Vila do Porto Inglês (Vila do Maio), que é o centro administrativo do concelho (Figura 2.3). A ilha apresenta uma população total de 6740 habitantes com a distribuição indicada no Quadro 2.2. Como se observa, a maioria da população está concentrada na Vila do Porto Inglês, seguindo-se a povoação da Calheta. No conjunto, nestas duas localidades reside mais de metade da população. Santo António é a povoação com menor número de habitantes, representando apenas 0,4% da população total.

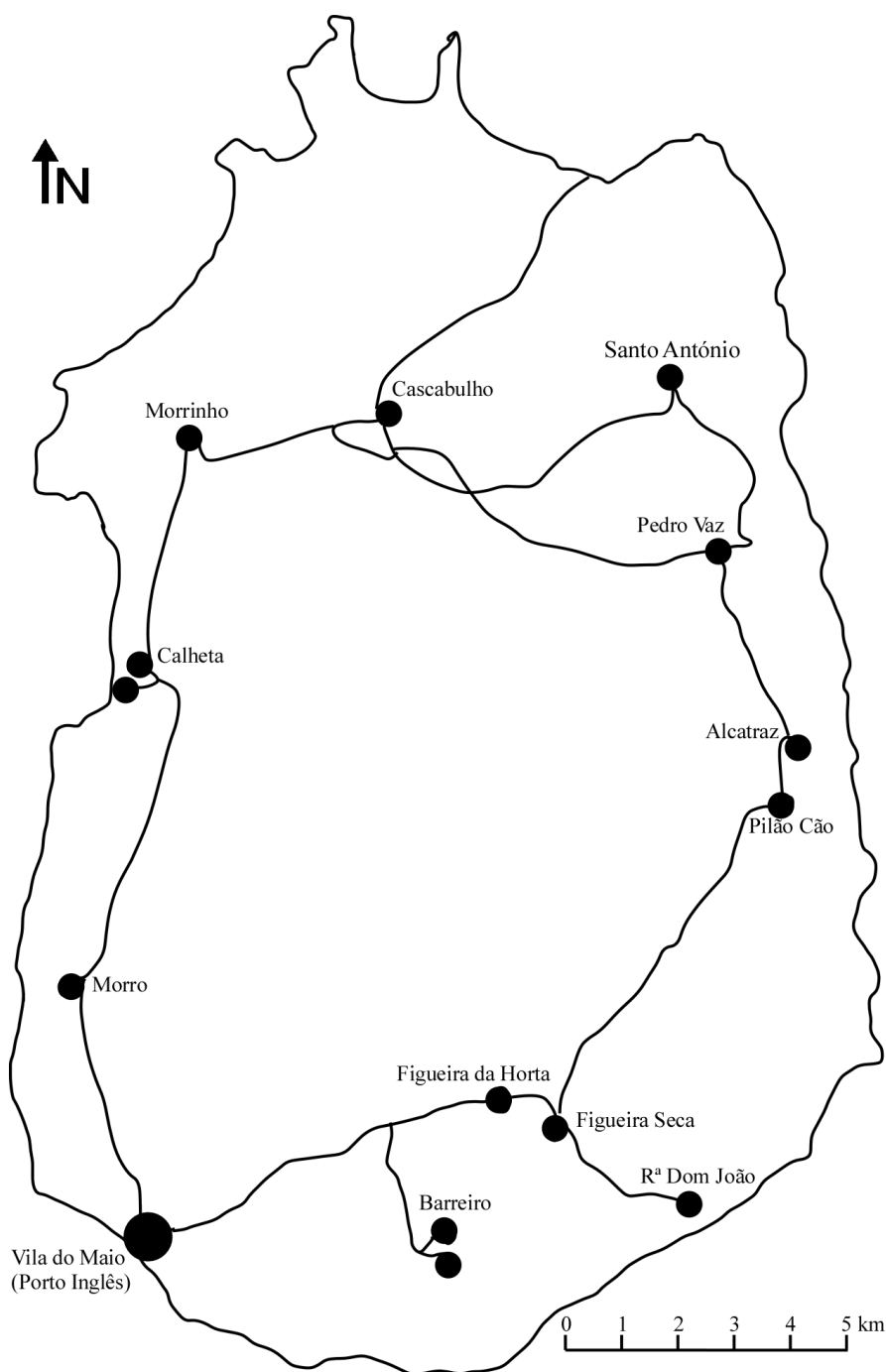


Figura 2.3. Principais povoações da ilha do Maio.

Conjugando os dados do Quadro 2.2 com a distribuição das povoações (Figura 2.3), verifica-se que a população tende a concentrar-se nas regiões litorais, onde desenvolve a sua principal actividade, que é a pesca. Para além desta actividade socioeconómica, a população da ilha do Maio dedica-se essencialmente à agricultura, embora a escassez de água e a sua salinização tenham levado ao abandono de muitos terrenos agrícolas.

Quadro 2.2. População residente da ilha do Maio (dados obtidos em INE (2000)).

Povoações	População	%
Alcatraz	205	3,0
Barreiro	618	9,2
Calheta	1107	16,4
Cascabulho	229	3,4
Figueira	533	7,9
Morrinho	481	7,1
Morro	296	4,4
Pedro Vaz	228	3,4
Pilão Cão	83	1,2
Praia Gonçalo	64	1,0
Ribeira Dom João	206	3,1
Santo António	26	0,4
Vila do Porto Inglês	2664	39,5
TOTAL	6740	100,0

2.2 Clima

O clima é uma condição característica da atmosfera junto da superfície terrestre numa dada região, representando a generalização do tempo (Lima, 1994).

No que concerne à realização de estudos no domínio da hidrogeologia, é fundamental o conhecimento de variáveis climáticas, particularmente a precipitação e a temperatura, entre as quais é possível estimar componentes importantes dos sistemas hídricos subterrâneos como é o caso das suas vertentes quantitativa e qualitativa.

O clima de Cabo Verde está fortemente condicionado pela sua localização no Sahel. A região Saheliana corresponde a uma faixa de transição entre o deserto do Sahara a norte e as savanas sudanesas a sul. Os climas desta zona são caracterizados por uma longa estação seca, intercalada por apenas um período de três meses húmidos, durante os quais as chuvas se concentram em alguns dias. Com relativa frequência ocorrem períodos de seca que podem durar vários anos (Semedo, 2004).

Assim, à semelhança dos outros países sahelianos, Cabo Verde manifesta duas estações distintas:

Estação seca – de Dezembro a Junho;

Estação húmida – de Agosto a Outubro.

Os meses de Julho e Novembro consideram-se de transição.

Segundo Amaral (1964), o Arquipélago de Cabo Verde fica situado numa vasta zona de clima árido e semi-árido, que atravessa a África desde o Atlântico ao mar Vermelho e se prolonga pela Ásia. Esta faixa extensa fica compreendida entre os centros de altas pressões subtropicais do Atlântico Norte e a linha de Convergência Intertropical, no seio dos ventos alísios (Figura 2.4).

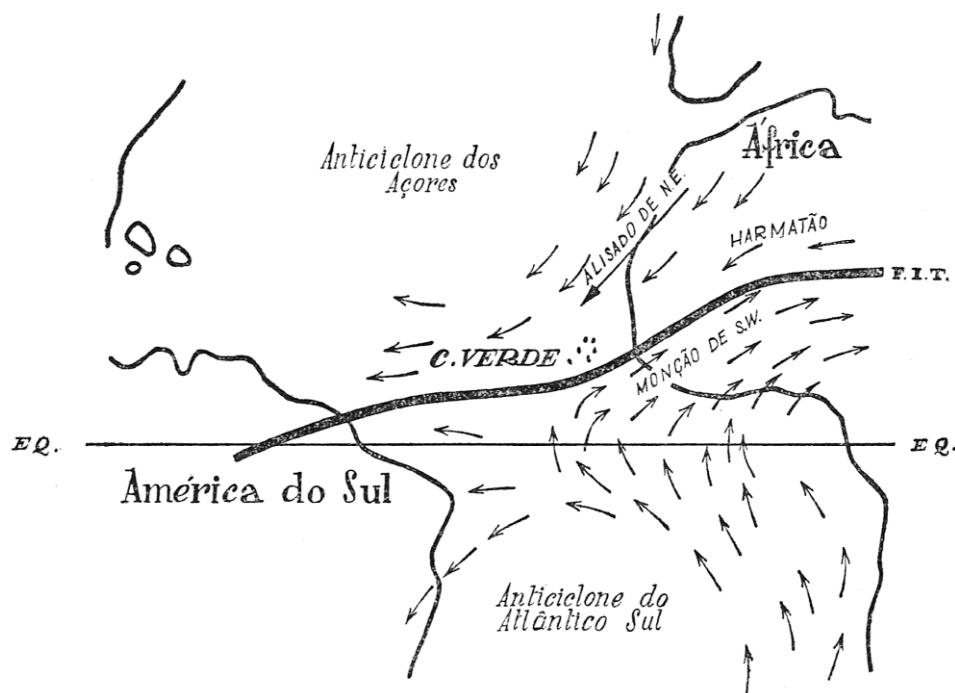


Figura 2.4. Massas de ar predominantes na zona de Cabo Verde, segundo Fonseca (1956), in Teixeira e Barbosa (1958).

O arquipélago, por vezes, é invadido por rajadas de vento quente e seco (Harmatão), proveniente do deserto de Saara, quando o anticiclone dos Açores se desloca mais a Leste. Este vento sopra por poucas horas ou prolonga-se por vários dias. Apesar do percurso marítimo de algumas centenas de quilómetros, chega às ilhas ainda quente e seco. Provoca prejuízo nas plantações, arrastando consigo uma grande quantidade de poeiras. Fica situado no total domínio dos ventos alísios do hemisfério norte. A sua circulação de superfície é dominada por dois grandes centros: a célula anticiclónica dos açores, a norte, e a faixa de depressões equatoriais proveniente da convergência dos ventos alísios dos dois hemisférios (convergência intertropical, CIT), a sul. As orientações e posições destes dois centros de acção determinam fundamentalmente a sucessão dos tipos de tempo que caracterizaram o clima das ilhas (Amaral, 1964).

Para além do Harmatão, o clima cabo-verdiano é condicionado por mais dois tipos de ventos, de origem e características diferentes: o *Alísio do nordeste* e a *Monção do Atlântico Sul* (Figura 2.4).

Nesta região, os ventos Alísios sopram de nordeste, quase permanentemente, ao longo das costas. São ventos relativamente frescos, com bom teor de humidade nas camadas inferiores. Contudo, como descem em latitude e se dirigem para regiões cada vez mais quentes, a sua temperatura eleva-se afastando-se assim do ponto de saturação. Portanto, nestas latitudes, são ventos relativamente secos, podendo no entanto ocasionar chuvas, quando atingem elevações que estimulam a subida rápida do ar. Com eles estão relacionadas as fracas precipitações do chamado “tempo das brisas”. Assim, estes ventos mostram-se benéficos nas vertentes bem expostas a partir de certa altitude, entre 600 m e 1.500 m. Em oposição, nas planícies têm um efeito dessecante.

A Monção do Atlântico Sul é uma corrente aérea proveniente da região equatorial, aspirada pela zona de depressão atmosférica continental, criada pelas elevadas temperaturas continentais durante o Verão. Nesta deslocação para ENE, contacta com os alísios de nordeste e com o Harmatão, segundo uma superfície designada por Frente Intertropical (F.I.T), como podemos observar na Figura 2.4. Desta forma, ao norte desta superfície encontram-se o Alísio e o Harmatão e, ao Sul, ar de monção quente, húmido, instável e poderosamente pluviogénico (Teixeira e Barbosa, 1958).

A Frente Intertropical é caracterizada por dois tipos de oscilação, sendo um anual e o outro ocasional. No primeiro tipo a frente alcança a sua extensão mínima em Fevereiro e a máxima no mês de Agosto, podendo subir ao paralelo 20° de latitude norte, no continente, mas ficando um pouco a sul do arquipélago Cabo-verdiano numa posição variável com o ano. (Figura 2.4). Nas oscilações ocasionais a frente tem movimentos ondulatórios, de pouca duração, por vezes de horas, com a amplitude de alguns graus em relação a sua posição média normal. É neste tipo de oscilação que a frente intertropical permite que a monção possa atingir as ilhas do arquipélago, provocando precipitações. É também por esta razão que as ilhas do sotavento são pluviometricamente mais beneficiadas que as ilhas do barlavento (Teixeira e Barbosa, 1958).

Em resumo, podemos dizer que o clima de Cabo Verde apresenta três correntes aéreas principais (Figura 2.5): (i) uma soprando de NE que, embatendo nas ilhas de maior altitude, toma um movimento ascensional significativo e afecta, pela sua humidade e frescura, os solos e a vegetação para cima de uma determinada cota. Nestas condições as vertentes

expostas ao quadrante nordeste são as mais beneficiadas por esta corrente; (ii) outra, vinda de E, seca e normalmente quente, aumenta a aridez da estação seca, sobretudo nas exposições de leste e nas ilhas orientais; (iii) a última, vinda de S e SW, húmida, é responsável pelas chuvas de Verão (Teixeira e Barbosa, 1958).

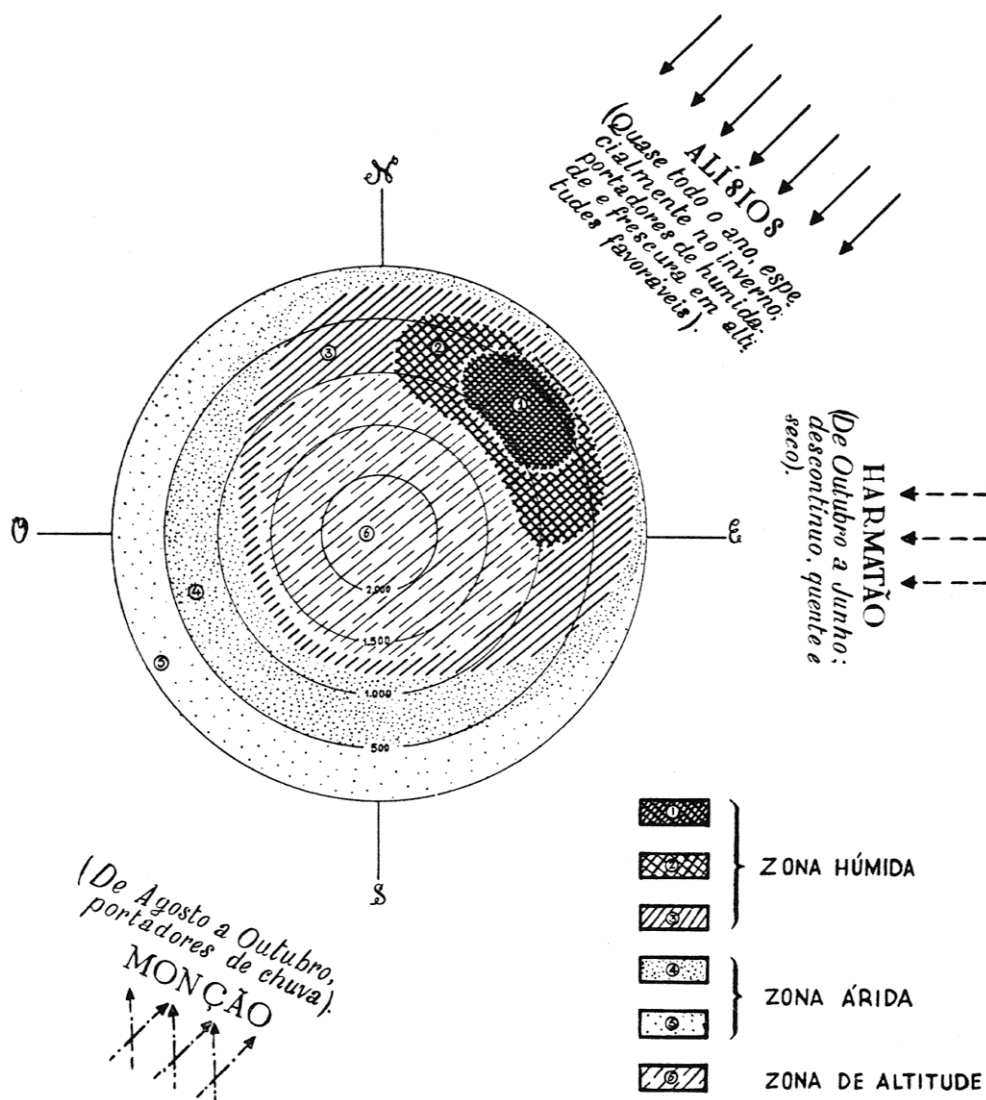


Figura 2.5. Distribuição teórica da humidade numa ilha cônica na situação geográfica de Cabo Verde (extraído de Teixeira e Barbosa (1958)).

É, no entanto, importante destacar o papel do relevo na caracterização do clima das ilhas, pois sem a intervenção da orografia, as chuvas tornar-se-iam ainda mais escassas. Desta forma, as ilhas mais aplanadas, como a do Maio, registam precipitações anuais muito baixas, ocorrendo também longos períodos sem qualquer precipitação. Pelo contrário, as ilhas do Fogo e Santiago são as mais beneficiadas pelos eventos pluviosos. Assim, as zonas

relativamente húmidas só se encontram nas ilhas de Santiago, Santo Antão, Fogo, São Nicolau, Brava e São Vicente e não existem nas ilhas de Santa Luzia, Sal, Boa Vista e Maio.

Segundo Teixeira e Barbosa (1958), a distribuição da humidade e da aridez nas ilhas define o zonamento apresentado na Figura 2.5. De acordo com estes autores, a zona 1 é a mais húmida, tem um âmbito restrito e situa-se normalmente entre 300 m e 1000 m de altitude; a zona 2 envolvente e contígua à zona 1 encontra-se juntamente com esta no lado nordeste da ilha; a zona 3, mais vasta que as anteriores, tem carácter sub-húmido, predomina no sector norte, mas também aparece no sector sul, embora a cotas superiores. O limite inferior desta zona coincide com a curva que separa as zonas relativamente húmidas das zonas áridas de baixa altitude; a zona 4, semiárida, abrange sobretudo a parte sul da ilha, podendo contudo definir uma estreita faixa litoral no sector nordeste; a zona 5, árida, abrange todos os terrenos litorais abaixo da cota de 500 m, com excepção do sector nordeste que, como se referiu, correspondem às zonas 3 e 4; a zona 6, árida e sub-húmida, domina acima dos 1000 ou 1200 m e ocupa portanto a parte central da ilha (Teixeira e Barbosa, 1958).

Como se referiu, as circulações atmosféricas antes descritas e as precipitações com elas relacionadas criam zonas climaticamente distintas. Assim, numa mesma ilha podem ocorrer andares húmidos, subáridos e áridos. A nível do arquipélago, em função da localização e da altitude, identificam-se ilhas (Sal, Boa Vista e Maio) com apenas andares áridos e semiáridos, enquanto as restantes ilhas tem uma variação climática que vai de semi-árido no litoral a húmido nas montanhas (Amaral, 1964).

Não obstante, as precipitações no arquipélago são na generalidade fracas, com valores médios que não ultrapassam 300 mm para as zonas situadas abaixo de 400 m de altitude e 700 mm para as zonas situadas a mais de 500 m de altitude e expostas aos ventos alísios. (INGRH, 2000). Desta forma, o clima de Cabo Verde é genericamente do tipo semiárido, com áreas de clima árido e outras de clima sub-húmido. Com efeito, como observa na Figura 2.6, a situação geográfica do arquipélago em termos de latitude ($14^{\circ} 48'$ e $17^{\circ} 13'$) enquadra-se numa região climática do tipo sub-húmido a semiárido, com precipitações anuais entre 250 e 1000 mm. Contudo, como se referiu anteriormente as ilhas mais aplanadas podem registar precipitações anuais inferiores a 250 mm, sendo portanto enquadráveis no clima árido.

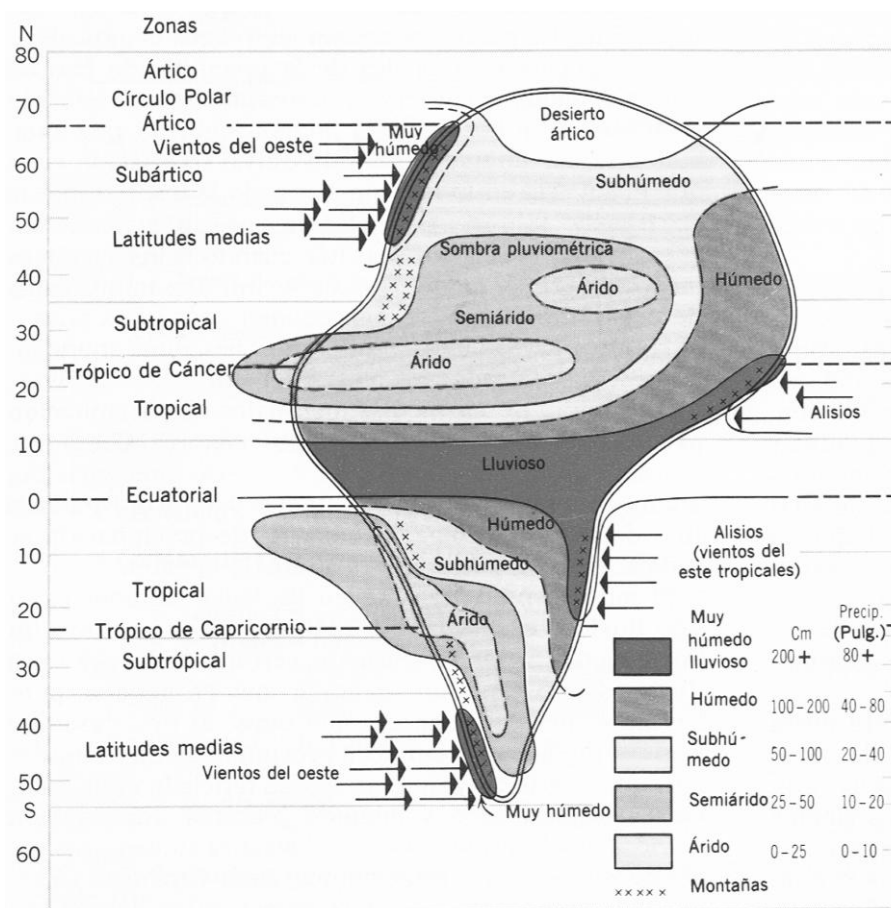


Figura 2.6. Esquema de distribuição da precipitação anual sobre um continente imaginário suas áreas oceânicas adjuntas, segundo Strahler e Strahler, (1989).

No quadro 2.3 apresentam-se os valores dos módulos pluviométricos nas diferentes ilhas, de acordo com INE (2000).

Quadro 2.3. Precipitações médias anuais nas ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, segundo INE (2000).

Grupo das Ilhas	Pluviometria mm/ano
S. Antão	237
S. Vicente	93
Santa Luzia	-
S. Nicolau	142
Sal	60
Boa Vista	68
Maio	150
Santiago	321
Fogo	495
Brava	268
Total	230

Para além da precipitação, a temperatura é também um parâmetro fortemente condicionador do clima. O arquipélago de Cabo Verde apresenta um regime térmico do tipo tropical seco com a temperatura mínima nos meses de Dezembro e Janeiro e o máximo em Julho e Agosto. O diagrama apresentado na Figura 2.7 ilustra a distribuição da temperatura intra-anual neste tipo pluviométrico, relativo a uma estação situado no deserto de Sahara a latitude de 27° N (Strahler e Strahler, 1989).

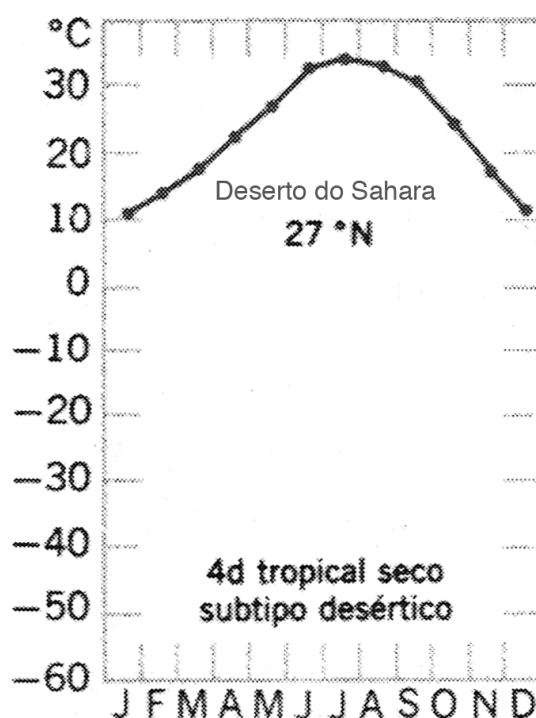


Figura 2.7. Regime térmico típico de um clima tropical seco (adaptado de Strahler e Strahler, (1989)).

Tratando-se de uma área de influência continental, é de esperar alguma diferença relativamente ao regime térmico de Cabo Verde, o qual tem também uma influência marítima. Assim, as temperaturas são usualmente mais moderadas em virtude desta influência. A localização em pleno oceano estabelece um importante factor moderador da temperatura das ilhas. Por este motivo, o ar mantém-se mais fresco e as amplitudes térmicas anuais e diurnas apresentam valores baixos quando comparadas com as de países vizinhos situados a latitudes idênticas. Os valores médios anuais são próximos de 22 °C. As temperaturas médias mensais são mais altas em Setembro (26,7 °C) e mais baixas em Janeiro/Fevereiro (18,4 °C) (Moreno, 2009).

Em relação à ilha do Maio dispõe-se de dados de temperatura relativos à estação de Calheta/Monte Vermelho, entre os anos de 1986 e 1998. Na Figura 2.8 apresenta-se a distribuição dos valores médios das temperaturas máxima, mínima e média ao longo do ano. Na série considerada (1986-1998), a média da temperatura mínima varia entre 17.1 °C no mês de Março e 23.4 °C em Setembro. Por sua vez, os valores médios da temperatura máxima oscilam entre 26.1 °C em Janeiro e 31.0 °C em Setembro. Finalmente, os valores médios da temperatura média variam entre 22.4 °C em Março e 27.4 °C em Setembro, com uma média de 24,4 °C. Por isso, em termos médios poderá dizer-se que Março é o mês mais frio e que Setembro é o mês mais quente.

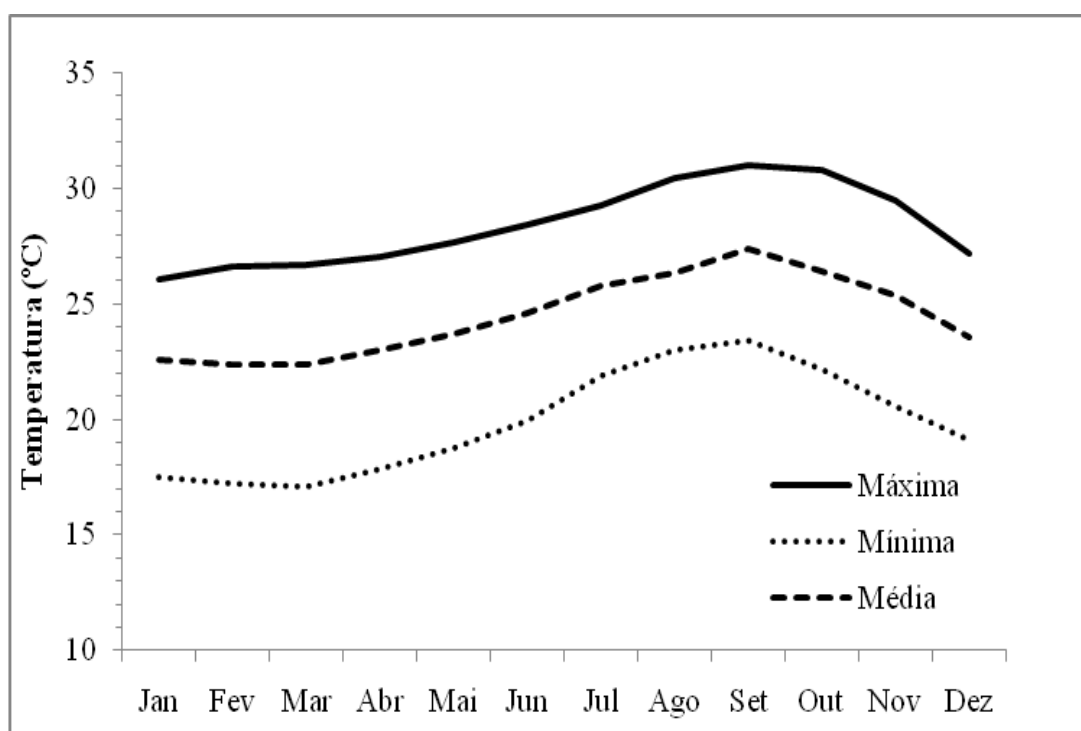


Figura 2.8. Distribuição dos valores da temperatura os longo do ano na ilha do Maio. (estação de Calheta/Monte Vermelho).

De acordo com os valores médios dos parâmetros climáticos antes referidos, o clima geral de cabo verde pode ser classificado, no sistema de Köppen, como um clima do tipo *BWh*, correspondendo a um clima seco, árido com uma temperatura média anual superior a 18 °C (Strahler e Strahler, 1989).

2.3 Geologia

2.3.1 Origem do Arquipélago

De acordo com Bebiano (1932), as ilhas de Cabo Verde elevam-se de um soco submarino, em forma de ferradura, situado a uma profundidade da ordem dos 3000 metros. Deste soco emergem três pedestais bem distintos (Figura 2.9):

- um a Norte, compreendendo as ilhas de St^o Antão, S. Vicente, St.^a Luzia e S. Nicolau e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco e Raso;
- outro a Leste e a Sul, com as ilhas do Sal, Boa Vista, Maio e Santiago e os ilhéus Rabo de Junco, Curral de Dadó, Fragata, Chano, Baluarte e de Santa Maria;
- e outro, a Oeste, compreendendo as ilhas do Fogo e da Brava e os ilhéus Grande, Luís Carneiro e de Cima.

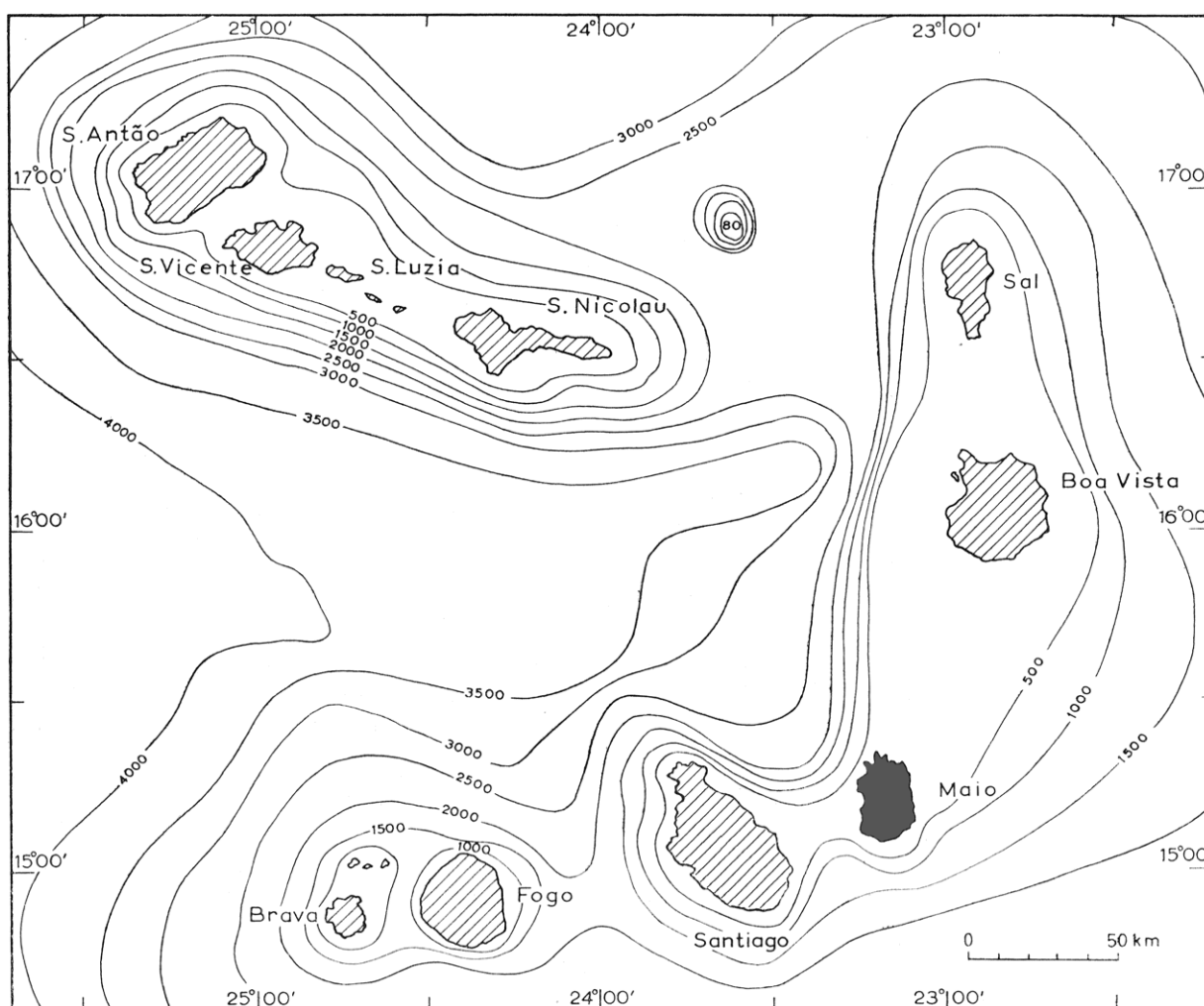


Figura 2.9. Distribuição das ilhas de Cabo Verde segundo os três pedestais (adaptado de Bebiano, 1932).

De acordo com o mesmo autor, as várias erupções vulcânicas que deram origem às ilhas de Cabo Verde tiveram início no fundo do oceano e, em alguns casos, os produtos vulcânicos levaram até à superfície fragmentos da litosfera, facilitando assim o conhecimento da constituição geológica daquela parte da crosta terrestre. As ilhas de Sal, Boa Vista e Maio são consideradas por aquele autor as mais antigas. Nestas ilhas não existe neste momento qualquer vestígio das crateras principais.

A orientação e forma de algumas ilhas situadas a oeste da ilha do Sal apontam para uma distribuição das mesmas, de forma alinhada, seguindo a direcção E-W. Esta posição é comprovada pela orientação dos inúmeros diques e filões existentes na ilha de Santo Antão. O relevo submarino das ilhas do grupo de Sotavento aponta também para uma orientação semelhante. Tais observações permitem concluir que os fenómenos vulcânicos responsáveis pela formação das ilhas desencadearam-se ao longo de uma fractura de orientação E-W (Bebiano, 1932).

Contudo, Burri (1960) defende a existência de três fracturas principais: a primeira de direcção WNW–ESE, de que resultaram as ilhas de Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau e os ilhéus Branco e Raso; uma segunda, de direcção aproximada N-S, responsável pela origem das ilhas de Sal, Boa Vista e Maio; a terceira e última, com orientação ENE-WSW seria responsável pela génese das ilhas de Santiago, Fogo e Brava, bem como dos ilhéus Rombos.

Para Serralheiro (1970), a génese do arquipélago está directamente ligada à abertura do Oceano Atlântico, com uma das fases tardias e não com a grande fractura que deu origem à crista média, acrescentando que a actividade vulcânica surgiu muito mais tarde, quando a largura do oceano era de algumas centenas de quilómetros. Serralheiro (1976) acrescenta que a formação das ilhas teria sido iniciada por uma actividade vulcânica submarina central, mais tarde completada por uma rede fissural manifestada nos afloramentos.

De acordo com Burke e Wilson (1972), a génese das ilhas está associada a um mecanismo do tipo *hotspot*. Do mesmo modo, Crough (1978) considera que o Arquipélago é o resultado de um *hotspot* desenvolvido a partir de plumas mantélicas. Este mecanismo surgiu da necessidade de se explicar os fenómenos vulcânicos que ocorrem longe das fronteiras de placas tectónicas, ou seja, o vulcanismo intraplaca.

Segundo Lancelot *et al.* (1977) o Arquipélago de Cabo Verde fica situado num domo com cerca de 400 km de largura, correspondendo a uma elevação do actual fundo oceânico. As ilhas representam edifícios vulcânicos locais na crista do domo.

LeBas (1980) e Stillman *et al.* (1982) presumem que um domo daquelas dimensões representa um fenómeno mantélico assinalável possivelmente relacionado com descompressão e fusão parcial, que seria a fonte dos magmas que originaram as ilhas.

Mais recentemente, Ali *et al.* (2003) e Pim *et al.* (2008) consideram que o mecanismo de *hotspot* não consegue explicar completamente a origem destas ilhas. Segundo estes autores, processos magmáticos profundos, nomeadamente o levantamento dinâmico, seriam os responsáveis pela formação das ilhas do Arquipélago.

De acordo com Silva (2008), a história geológica do arquipélago juntamente com os resultados de análises de suas composições magmáticas permitem evidenciar três tipos de magmatismo: (i) magmatismo de quimismo toleítico identificado nas ilhas de Maio e de Santiago, deduzido da presença de lavas em almofada do tipo MORB (*mid-ocean ridge basalts*) geradas numa região próxima da crista central do Atlântico e sobre as quais assentam os calcários jurássicos e cretácicos, que representam um segmento levantado da crosta oceânica. A datação estabelecida a partir de fósseis existentes nestes sedimentos permite inferir que os basaltos tiveram a sua génese entre o final do Jurássico e o início do Cretácico, havendo deposição de sedimentos, típicos de águas profundas, até final do Cretácico (Stillman *et al.* (1982); (ii) magmatismo do tipo alcalino subsaturado que originou os edifícios vulcânicos constituintes da maior parte das ilhas. Este tipo de magmatismo, a par da elevação do fundo oceânico, tiveram o seu início desde, aproximadamente, 26 M.a. na ilha do Sal e perduram até a actualidade, sendo o último testemunho a erupção de 1995 na ilha do Fogo; (iii) magmatismo de quimismo carbonatítico, representado por rochas constituídas por carbonato ígneo (carbonatitos) extrusivo que correspondem às únicas ocorrências de vulcanismo carbonatítico assinalado em ilhas oceânicas.

Segundo Bebian (1932), houve um derrame principalmente de rochas basálticas, que se espalharam formando extensos mantos. Simultaneamente foram expelidos produtos piroclásticos constituídos por aglomerados, brechas, escórias, lapili e tufo.

Em seguida, formaram-se rochas da família fonolítica e, em pequena escala, rochas andesíticas, lamprofíricas, entre outros, originando pequenos mantos, cúpulas, diques e filões.

Após a ejeção das rochas fonolíticas, na maioria das ilhas ocorreu uma fase de relativo repouso vulcânico. Noutras, foi de novo iniciada a actividade vulcânica, tendo sido expelidas rochas basálticas formando mantos, filões e diques.

Houve um período de intensa erosão pluvial e fluvial entre as fases basáltica e fonolítica, tendo sido formadas várias depressões e vales nas regiões basálticas que foram mais tarde invadidos por lavas fonolíticas, como aconteceu nas ilhas de S. Nicolau e Santo Antão.

Também na fase basáltica houve épocas de relativo repouso vulcânico, com uma actividade eólica intensa, tendo como evidencia a formação de dunas que mais tarde foram cobertos por mantos basálticos, como é o caso da ilha de S. Vicente. (Bebiano, 1932).

Em menor quantidade, originaram-se rochas de textura holocristalina, tais como sienitos, dioritos e gabros. Estas formaram-se em condições muito especiais de temperatura e pressão, tendo sido possivelmente originados no fundo das crateras, estando geneticamente ligados aos magmas vulcânicos.

Camadas calcárias, formadas por fragmentos de conchas de vários animais marinhos, encontram-se em vários locais das ilhas, sobretudo nas proximidades da costa. Estes calcários estão por vezes intercalados em mantos basálticos (Bebiano, 1932).

Em síntese, a formação das ilhas teria sido iniciada por uma actividade vulcânica submarina central, mais tarde completada por uma rede fissural, dando origem a rochas basálticas, fonolíticas e produtos piroclásticos. Numa primeira análise, constata-se a ocorrência de fenómenos geológicos desde o Jurássico Superior (160 Ma) até os nossos dias, sendo as mais antigas as rochas sedimentares da ilha do Maio e as mais recentes constituídas por areias, aluviões, dunas, depósitos de vertente e de enxurrada, acompanhados de alguma actividade vulcânica na ilha do Fogo (Serralheiro, 1976).

2.3.2 Sequência vulcano-sedimentar

O esquema vulcano-sedimentar de Cabo Verde pode resumir-se e caracterizar-se do seguinte modo, partindo das formações mais antigas (1) para as mais recentes (13) (Afonso *et al.*, 2009):

1 – Sedimentos Jurássicos;

2 – Sedimentos Cretácicos;

- 3 – Sedimentos Paleogénicos;
- 4 – Complexo Eruptivo Interno Antigo (Paleogénico/Miocénico);
- 5 – Sedimentos Miocénicos;
- 6 – Derrames Submarinos Miocénicos;
- 7 – Depósitos Conglomerático-Brechóides (Miocénicos);
- 8 – Formações Traquíticas Miocénicas;
- 9 – Complexo Eruptivo Principal (Mio-Pliocénico);
- 10 – Derrames Pliocénicos;
- 11 – Cones de Piroclastos e Escoadas (Pliocénico-Quaternário);
- 12 – Sedimentos Plistocénicos;
- 13 – Sedimentos e Piroclastos (Holocénicos).

As três primeiras formações estão presentes apenas na ilha do Maio. Além disso, como sustentam Stillman *et al.* (1982), são também conhecidas nesta ilha rochas ígneas constituídas por lavas em almofada (*pillow lavas*), características dos basaltos da crista média oceânica.

De seguida efectua-se uma caracterização sucinta de cada uma das formações referidas por Afonso *et al.* (2009).

1 – Sedimentos Jurássicos

Os sedimentos atribuídos ao Jurássico superior são constituídos essencialmente por calcários com silexito. São calcários compactos, de cor esbranquiçada a acinzentada e de grão muito fino. Em certos locais são observáveis camadas bastante finas de calcários margosos. Por vezes encontram-se metamorfizados, passando a mármore e corneanas.

2 – Sedimentos Cretácicos

As formações do Cretácico inferior são constituídas por calcários compactos com silexito, sobrepostos por calcários margosos, argilas e margas.

É vulgar a ocorrência de intrusões lávicas sub-verticais e sub-horizontais e, menos frequentemente, a intrusão de essexitos que metamorfizam os calcários.

3 – Sedimentos Paleogénicos

Argilas, margas e calcários margosos formam o topo desta série sedimentar que, como se referiu, apenas ocorre na ilha do Maio.

4 – Complexo Eruptivo Interno Antigo (Paleogénico/Miocénico)

O Complexo Eruptivo Interno Antigo observa-se em todas as ilhas e é composto por um conjunto de formações geológicas que representam as manifestações vulcânicas mais antigas da parte emersa da República de Cabo Verde. Distinguem-se as seguintes subunidades, das mais antigas (a) para as mais recentes (f):

- a) Complexo filoniano de base, essencialmente basáltico;
- b) Intrusões de rochas granulares;
- c) Brechas;
- d) Intrusões e extrusões fonolíticas e traquíticas;
- e) Carbonatitos;
- f) Intrusões e Extrusões fonolíticas.

Ainda que se considere a sequência de fenómenos geológicos antes apresentada, a verdade é que está comprovada a recorrência dos diversos tipos de rochas pelo que, localmente, a ordem de instalação poderá encontrar-se alterada (Afonso *et al.*, 2009).

5 – Sedimentos Miocénicos

Os sedimentos miocénicos constituem formações conglomeráticas que ocorrem apenas nas ilhas de Santiago, Maio, São Nicolau e Boavista (Alves, *et al.*, 1979), não tendo sido identificadas nas restantes ilhas (Afonso *et al.*, 2009).

6 – Derrames Submarinos Miocénicos

Os derrames submarinos miocénicos são constituídos por mantos, brechas e piroclastos básicos que assentam, em discordância, sobre o Complexo Eruptivo Interno Antigo. Estas formações apresentam características de autobrechificação importante (hialoclastitos) e estão, por vezes, associadas a piroclastos, assumindo, frequentemente, a forma de *pillow-lavas* bastante alteradas.

7 – Depósitos Conglomerático-Brechóides (Miocénicos)

Depósitos Conglomerático-Brechóides foram identificados em todas as ilhas, à excepção do Fogo e da Brava.

8 – Formações Traquíticas Miocénicas

Foram observadas nas ilhas de Santiago e da Boavista Formações traquíticas miocénicas, parecendo não ter paralelo nas outras ilhas do Arquipélago (Afonso *et al.*, 2009).

9 – Complexo Eruptivo Principal (Mio-Pliocénico)

Dentro do Complexo Eruptivo Principal incluem-se formações provenientes de actividades vulcânicas explosivas e efusivas, subaéreas e submarinas, ocorridas em diferentes épocas e com longos intervalos de acalmias. Ocupam a maior parte da superfície das ilhas, originam as maiores altitudes e formam as plataformas estruturais ainda existentes, as achadas. Esta unidade geológica está bem representada em todas as ilhas do Arquipélago, constituindo a formação mais espessa.

10 – Derrames Pliocénicos

Derrames importantes de rochas vulcânicas, posteriores ao Complexo Eruptivo Principal foram identificados nas ilhas de Santiago, S. Nicolau, Fogo e St.º Antão (Alves *et al.*, 1979). Trata-se de rochas de implantação exclusivamente subaérea, de fácies basáltica, com lavas e raros piroclastos, que assentam em nítida discordância sobre as formações do Complexo Eruptivo Principal (Afonso *et al.*, 2009).

11 – Cones de Piroclastos e Escoadas Pliocénico-Quaternários

À excepção da ilha do Maio, onde não se encontram assinaladas formações vulcânicas equivalentes, os cones de piroclastos e escoadas basálticas associadas do Pliocénico e da base do Quaternário encontram-se espalhados por todas as restantes ilhas do Arquipélago. Trata-se da última grande manifestação vulcânica (na ilha do Fogo ocorreram erupções vulcânicas em 1951 e 1995) e traduz-se na formação de numerosos pequenos cones de piroclastos basálticos (tufos, bombas e escórias) e de pequenos derrames associados (Afonso *et al.*, 2009).

12 – Sedimentos Plistocénicos

Existem formações sedimentares Quaternárias em todas as ilhas. Os sedimentos atribuídos ao plistocénico correspondem a dunas fósseis e níveis de praia.

13 – Sedimentos, Piroclastos e Escoadas Holocénicos

Em todas as ilhas abundam as formações sedimentares recentes, Quaternárias, constituídas por areias, dunas, depósitos de vertente e depósitos de enxurrada.

2.3.3 Geologia da ilha do Maio

No contexto da geologia do arquipélago de Cabo Verde, a ilha do Maio destaca-se por ser a única a possuir, na porção emersa, as formações mais antigas, nomeadamente as lavas em almofada do Jurássico e as formações sedimentares mesozóicas. Por outro lado, no estado actual do conhecimento, é também a única ilha que não possui cones de piroclastos e escoadas pliocénico-quaternários, conhecidos como Formação do Monte das Vacas na ilha de Santiago.

Segundo Serralheiro (1970) a formação da ilha do Maio está relacionada com a deriva dos continentes. Este autor admite que a extrusão magmática seja do tipo diapírico, por um processo geneticamente semelhante ao da formação das cristas oceânicas e de montanhas. A ascensão da bolsa de magma terá originado o empolamento dos sedimentos, provocando deste modo a fracturação das camadas. O movimento centrífugo de compressão exercido pelo magma essexítico originou não só as fortes inclinações como também as dobras fortemente inclinadas. Na Figura 2.10 apresenta-se um esquema

interpretativo do processo de formação da ilha do Maio, de acordo com Serralheiro (1970).

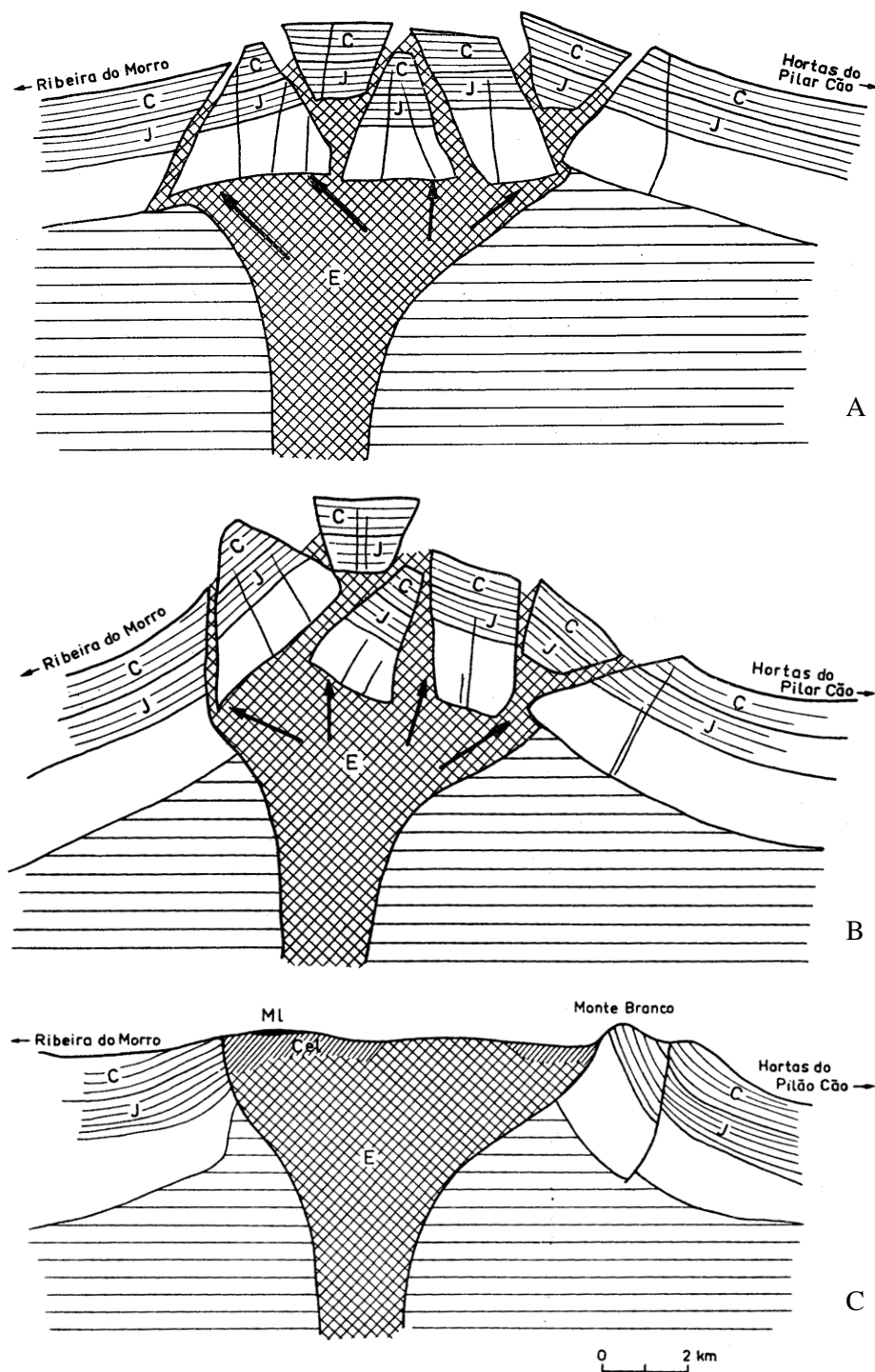


Figura 2.10. Representação esquemática da formação e evolução da ilha do Maio. A - Instalação do diapiro com fracturação, derrames lávicos e intrusões filonianas; B - Acentuação do levantamento das camadas; C - Estado actual após erosão intensa. (E – magma essexítico; J – sedimentos jurássicos; C – sedimentos cretácicos). Adaptado de Serralheiro (1970).

A ilha do Maio é constituída por dois tipos principais de formações (Serralheiro, 1970): (i) formações eruptivas ou ígneas e (ii) formações sedimentares (Figuras 2.11 e 2.12). Por sua vez, as formações eruptivas são constituídas por rochas intrusivas e extrusivas. As rochas intrusivas estão associadas a três fases.

A fase A é constituída por essexito que é a rocha granular predominante da ilha do Maio, com grandes intrusões na direcção NNW - SSE. Encontra-se muito alterada e recortada por inúmeros filões lávicos provenientes das fases eruptivas posteriores, tornando difícil distinguir o essexito das rochas filonianas. Apresentam grandes afloramentos em Figueira Seca-Lomba de Vigia e Chão do Monte-Monte Vermelho.

A fase B é constituída por sienitos feldspatóídicos e rochas afins. Posteriormente à solidificação do magma essexito, deram-se pequenas intrusões sieníticas dispersas pelo núcleo central da ilha. A maioria dos afloramentos está na mancha essexítica e os restantes nos afloramentos do complexo eruptivo lávico e argilo-calco-eruptivo. Existem afloramentos importantes situados ao ocidente da Lomba de Vigia e entre Figueira Horta e Monte Forte.

A fase C é constituída por carbonatitos. Estas formações são conhecidas em vários locais da ilha, sendo as mais numerosas situadas nos afloramentos de calcários e de argilas eocretácicas das colinas a leste do Monte Branco. Esta intrusão carbonatítica manifesta-se por filões de pequena espessura e por plagas. No primeiro caso, o contacto dá-se de uma forma brusca e bem individualizado. Os carbonatitos situam-se sempre em zonas de fractura em relação à tectónica que lhes deu origem. Encontram-se filonetes de carbonatitos em quase todos os afloramentos de calcário.

Na categoria das rochas extrusivas incluem-se filões e mantos lávicos. Os filões atravessam quase todas as rochas da ilha, sendo particularmente densos na zona central. Apresentam as mais variadas dimensões quer em extensão quer em espessura. As espessuras variam muito, sendo a mais vulgar cerca de 1 m. Estes filões não têm direcções privilegiadas, notando-se apenas uma certa tendência para algumas delas corresponderem aos sistemas de fracturas que afectaram a ilha.

As erupções lávicas encontram-se distribuídas por quatro fases distintas (Serralheiro, 1970). No entanto, de acordo com este autor, a segunda fase lávica é provavelmente do tipo multi-fásica.

A primeira fase lávica teve lugar no Cretácico médio após a consolidação do magma

essexítico, manifestando-se apenas por alguns filões que foram interceptados por várias intrusões granulares.

A segunda fase lávica inclui fundamentalmente numerosos filões lávicos que se distribuem essencialmente na parte central da ilha, prolongando para sudeste até ao mar. É também desta fase a mancha que recorta os calcários mesozóicos na faixa oriental. Fazem parte também várias brechas eruptivas que são constituídas por clastos de rocha eruptiva lávica cimentados por lava. No entanto, quando ocorrem no contacto com os sedimentos mesozóicos, existem clastos de calcário entre os elementos da brecha. Esta fase desenvolveu-se entre o Cretácico superior e o Paleogénico inferior.

A terceira fase eruptiva lávica é constituída por mantos lávicos (subaéreos e submarinos) e filões. Os afloramentos destas rochas encontram-se bastante alterados e a erosão tende a desmantelá-los. As rochas desta fase são nefelinitos, limburgitos e augititos. Esta fase pertence ao Paleogénico.

A quarta fase lávica, Pliocénica, foi a última que se deu na ilha do Maio, devendo ter coberto quase toda a superfície emersa devido ao seu grande desenvolvimento. Os afloramentos relacionados com esta fase correspondem a mantos subaéreos, provenientes de vários derrames. Petrograficamente estes mantos incluem rochas do tipo limburgito, ancaratrilo, ancaratrilo melilítico, melilítico olivínico, nefelinito olivínico, etendito olivínico, analcito, basanito e rochas afins. Além dos mantos referidos, existem também filões petrograficamente associados a rochas do tipo ancaratrilo, melilítico, analcítico, analcítico de fácies lamprofírica, augilito e basanito analcítico. Os montes Penoso e de Santo António constituem exemplos desta fase lávica (Figura 2.11).

As formações sedimentares da ilha do Maio dispõem-se à volta do núcleo eruptivo e correspondem a quatro períodos distintos: rochas mesozóicas, rochas paleogénicas, rochas neogénicas e rochas antropozóicas (Figuras 2.11 e 2.12).

As rochas sedimentares mesozóicas ocupam uma pequena área e dispõem-se segundo duas faixas orientadas na direcção NW-SE. Em termos geocronológicos, estas rochas podem ser divididas em três grupos: 1º - Jurássico, constituído por argila e, fundamentalmente por calcários compactos; 2º - Eocretácico, constituído por numerosas camadas de calcários, calcários margosos, argilas e margas; 3º - Mesozóico indiferenciado, constituído provavelmente por restos das bancadas do topo do Jurássico.

As rochas sedimentares paleogénicas dispõem-se duas faixas, situadas a NE e a SW





da ilha. Estas rochas estão materializadas pelo Conglomerado de Pedro Vaz que, por sua vez, é constituído quase exclusivamente por elementos bem rolados e polidos de rochas lávicas e por pequena quantidade de calhaus de calcário compacto, provenientes das camadas eocretácicas. Os elementos estão ligados por arenito fino totalmente alterado.

As rochas sedimentares neogénicas encontram-se em volta do núcleo eruptivo em afloramentos de grande e pequena extensão. Estas rochas são compostas por depósitos conglomerático-brechóides e calcários compactos e conglomerados. O depósito conglomerático-brechóide é constituído essencialmente por elementos provenientes da desagregação dos relevos vulcânicos. A formação apresenta duas fácies diferentes, uma de brecha e outra de conglomerado. Do centro para a periferia da ilha, a fácies de brecha passa, progressivamente, à de conglomerado. Os calcários compactos e conglomerados constituem um patamar onde assentam rochas mais modernas, conglomerados, calcarenitos e calcários de idade quaternária.

As rochas sedimentares antropozóicas dispõem-se também em volta do núcleo eruptivo formando um anel bastante largo em algumas zonas. Destas rochas fazem parte os sedimentos plistocénicos e sedimentos holocénicos. Os primeiros são formados por antigas praias, de que, actualmente, sobretudo das de maior altitude restam pequenos retalhos. Os materiais que constituem os depósitos destas antigas praias são, na base, um conglomerado grosseiro, com muitos calhaus bem rolados de rochas lávicas. Por cima do conglomerado encontram-se calcários compactos e calcarenitos mais ou menos consolidados. Dos sedimentos holocénicos fazem parte areias de praia e de dunas, aluviões (englobando ora grandes calhaus, ora apenas areias finas) e, por último, depósitos de enxurradas, formados por materiais muito grosseiros e finos.

Serralheiro (1970) refere ainda a presença de rochas metamórficas, a maioria delas resultantes da intrusão essexítica nos sedimentos mesozóicos, tendo conduzido à formação de corneanas e mármore. Segundo o mesmo autor, não obstante a elevada densidade de filões que atravessam os sedimentos, a acção das rochas lávicas sobre estes sedimentos é muito reduzida.

FORMAÇÕES SEDIMENTARES

	Aluviões (a), depósitos de enxurrada (de), areias (ar), areias de praia (ap), dunas (ad), ruscalheiras (rs)	} Holocénico
	Depósitos de praias antigas (conglomerados, calcários e calcarenitos); dunas fósseis (df).	} Plistocénico
	Depósitos conglomerático-brechóides.	} Neogénico (Miocénico ?)
	Conglomerado de Pedro Vaz.	} Paleogénico
	Argilas, margas e calcários margosos	} Cretácico médio e inferior
	Calcários compactos, fossilíferos, com leitos de sílexito, passando a calcários margosos para o topo.	} Cretácico inferior
	Calcários compactos, com leitos de sílexito	} Jurássico superior ?
	Complexo argilo-calca-eruptivo Calcários compactos, quase sempre cristalizados	
	Complexo argilo-calca-eruptivo Calcários compactos, com leitos de sílexito Argilas	} Mesozóico indiferenciado Jurássico superior ? e Cretácico inferior

FORMAÇÕES ERUPTIVAS







	Mantos subaéreos e filões (ancaratritos, basanitos, nefelinitos, etc.). 4.ª fase lávica.	} Pliocénico
	Filões e mantos subaéreos e submarinos (nefelinitos, lunburgitos e augítos). 3.ª fase lávica.	} Paleogénico
	Brechas eruptivas em relação com fracturas	} Cretácico superior e inferior ?
	Complexo eruptivo, constituído por mantos submarinos e filões (basanitos, basanitóides e etinditos). 1.ª e 2.ª fases lávicas.	
	Sienitos feldspatóides e rochas afins	} Cretácico superior ?
	Essexito	} Cretácico médio
	filões lávicos (l), analcáiticos (an), ancaratritos (ae), carbonatíticos (cb) e doleríticos (d).	
	falhas	

Figura 2.12. Legenda da Carta Geológica da ilha do Maio (Figura 2.11).

Outro facto de salientar sobre a geologia da ilha é a observação de movimentos tectónicos que afectaram particularmente os calcários, podendo-se observar dobras, fracturas e falhas (Serralheiro, 1970).

O modelo de génese e evolução da ilha do Maio antes apresentado não está totalmente de acordo com investigações mais recentes. Um dos principais aspectos de discussão relaciona-se com a tipologia das rochas mais antigas aflorantes na ilha do Maio. De facto, De Paepe *et al.* (1974) mostraram que nesta ilha ocorre um fragmento do fundo oceânico mesozóico, com lavas em almofadas semelhantes aos basaltos da crista média oceânica, sendo, portanto, as rochas mais antigas da ilha do Maio. Com base nesta e outras evidências, Stillman *et al.* (1982) propõem um novo modelo geodinâmico para a ilha do Maio. De acordo com estes autores, a sucessão estratigráfica desta ilha pode ser dividida num Complexo de Base Mesozóico sobreposto discordantemente por formações Cenozóicas. Desta forma, a unidade mais antiga (Jurássico Superior), correspondente à Formação do Monte Batalha, é sucedida pelos calcários da Formação do Morro. Esta formação, juntamente com as de Carqueijo e Coruja, constituiu o Grupo do Monte Branco, o qual representa um período contínuo de sedimentação marinha, desde o Jurássico Superior até, pelo menos, ao Cretácico Superior. O limite superior das formações deste grupo está marcado por uma discordância de erosão, a que se sobrepôs uma sequência Neogénica de erupções vulcânicas e principalmente sedimentos não marinhos. Existe portanto um hiato Paleogénico resultante de não deposição e/ou erosão.

As primeiras formações cenozóicas compreendem rochas vulcânicas do tipo ancaramítico, pertencentes à Formação de Casas Velhas, cuja erupção ocorreu principalmente em ambiente marinho pouco profundo. Estas rochas foram seguidas pela Formação de Pedro Vaz, a qual é composta essencialmente por conglomerados derivados parcialmente da erosão das lavas de Casas Velhas e de lavas intercaladas com composição semelhante. De facto, o carácter grosseiro dos clastos que compõem a Formação de Pedro Vaz indica um período de levantamento, com erosão intensa associada a deposição fluvial.

Posteriormente à sedimentação que originou a formação de Pedro Vaz, recomeçou a actividade vulcânica com uma série de erupções alcalinas de lavas subaéreas, do tipo olivina melilitito, olivina melilito nefelinito e olivina nefelinito, que deram origem à Formação de Pedra Malhada.

Na sua fase final, a actividade Neogénica voltou a ser do tipo ancaramítico e foi responsável pela erupção de um importante estratovulcão, parcialmente preservado no

Monte Penoso e no Monte Santo António, que correspondem aos pontos topograficamente mais elevados da ilha do Maio. Como tal esta formação é conhecida por Formação do Monte Penoso.

A história geológica subsequente da ilha não inclui actividade vulcânica, apesar de movimentos verticais recorrentes envolvendo levantamento de vários metros sugerirem que a ilha e a crosta subjacente não estejam ainda arrefecidas e totalmente em repouso.

Retomando a constituição do complexo de base Mesozóico, importa salientar a presença de um complexo intrusivo central, compreendendo piroxenitos de grão grosseiro, essexitos e sienitos recortados por diques e filões com composições diversas, desde basanitos até ancaramitos e traquitos. Este complexo intrusivo central é multifásico. A primeira fase, do Cretácico médio, poderá ser responsável pelo crescimento e levantamento mesozóico da ilha até próximo do nível do mar. Numa segunda fase, as lavas e os sedimentos mesozóicos foram recortados pela intrusão ígnea, aparentemente responsável pelo levantamento que causou a estrutura em domo da ilha e a deformação da cobertura sedimentar. Devido à sua geometria e na ausência de outras evidências, o processo de formação do domo pode ser razoavelmente explicado pela fase paleogénica de intrusão do plutão diapírico, a qual resultou num levantamento rápido local do núcleo plutónico da ilha. A terceira e última fase caracterizam-se pela intrusão de diques e filões que cortaram os planos de cavalgamento responsáveis pela repetição das sucessões sedimentares. Os piroxenitos, essexitos e sienitos parecem representar uma simples sequência de diferenciação magmática, provavelmente repetida em cada fase intrusiva. A última manifestação intrusiva terá sido a dos carbonatitos, os quais ocorrem principalmente sobre a forma de diques que penetram nos calcários mesozóicos ou cortam rochas máficas, particularmente as lavas em almofada. Considerando a tendência do magma peralcalino em gerar um levantamento incomum, é possível que a fase do diapirismo com levantamento suficiente para inclinar e dobrar os estratos sobrejacentes possa estar relacionada com a fase magmática peralcalina responsável pelos carbonatitos (Stillman *et al.*, 1982).

A característica estrutural mais surpreendente do complexo de base é a presença de grandes cavalgamentos que provocam a repetição da estratigrafia ao longo da margem oriental do complexo central, como se pode observar na Figura 2.13.

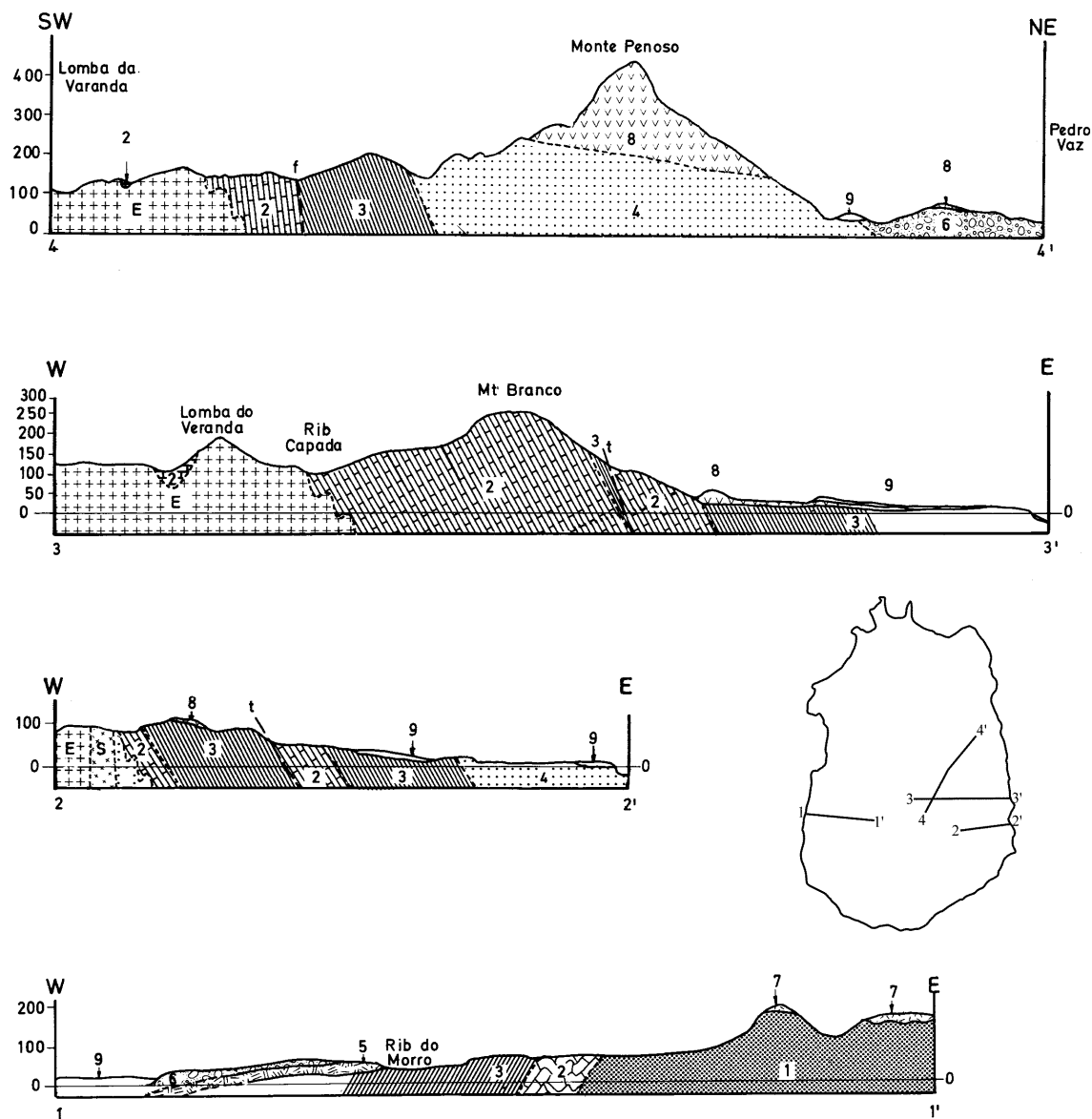


Figura 2.13. Cortes geológicos da ilha do Maio, de acordo com a localização indicada no mapa. (1-Formação do Monte Batalha; 2-Formação do Morro; 3-Formação Carqueijo; 4-Formação Coruja; 5-Formação Casas Velhas; 6-Formação de Pedro Vaz; 7-Formação de Pedra Malhada; 8-Formação do Monte Penoso; 9-Cobertura Indiferenciada; E-Essexitos; S-Sienitos; f-Falha; t-Cavalcamento Adaptado de Stillman *et al.* (1982).

A rápida diminuição da profundidade no Cretácico médio durante o qual a Formação de Carqueijo foi depositada, pode ter sido devido a subida local do plutão que terá contribuído para a formação de ruditos da Formação de Coruja (Figura 2.14). Este levantamento não terá sido responsável por qualquer deformação, já que não há nenhuma discordância angular entre a Formação de Coruja e as camadas anteriores (Stillman *et al.*, 1982).

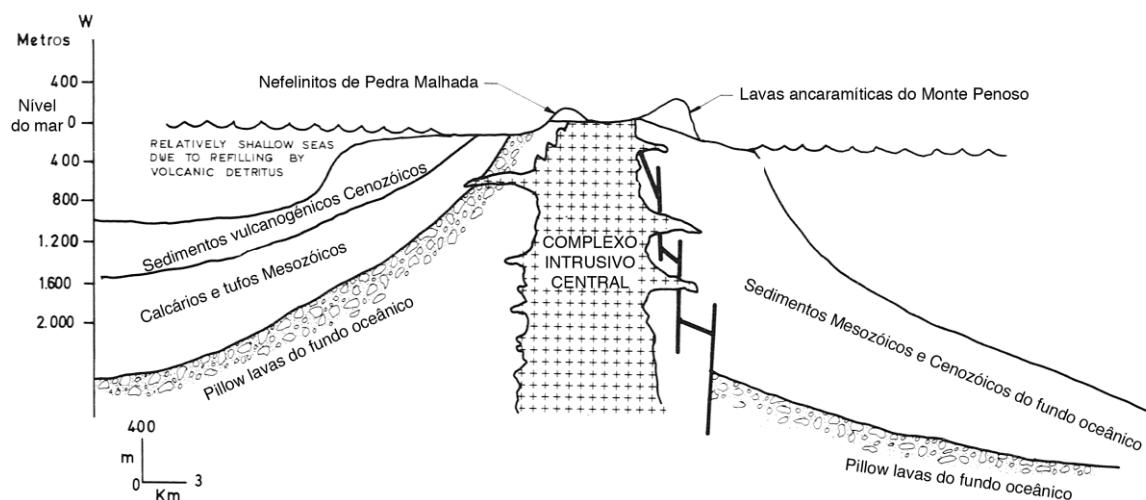


Figura 2.14. Corte geológico esquemático da ilha do Maio e do fundo oceânico adjacente. Adaptado de Stillman *et al.* (1982).

Em síntese, o modelo de Stillman *et al.* (1982) prevê que a formação da ilha do Maio tenha ocorrido sobre ou nas proximidades da crista média oceânica, sendo as rochas da Formação do Monte Batalha as mais antigas da ilha (Jurássico Superior). No final do Jurássico o vulcanismo submarino cessou, tendo-se iniciado a sedimentação que veio a dar origem à sedimentação de calcários plágicos da Formação do Morro. Durante esta deposição o fundo oceânico não recebeu quantidades significativas de sedimentos terrestres e manteve-se tectonicamente estável. No final do Cretácico inferior (Albiano) reiniciou-se o vulcanismo tendo a ilha emergido expondo o edifício vulcânico aos fenómenos de erosão. Esta emergência está também associada ao levantamento decorrente da instalação de plutões, provavelmente alimentados por uma fonte local de magma. Esta intrusão não pode ser anterior ao Aptiano. Apesar da deposição ter continuado até ao Cretácico superior, não são conhecidos sedimentos Paleogénicos na ilha do Maio, devido provavelmente à erosão e/ou à ausência de deposição. No Neogénico foi retomada a actividade vulcânica dando origem à Formação de Casas Velhas (ancaramitos) que veio a ser erodida dando origem à Formação do Pedro Vaz (conglomerados). O vulcanismo Neogénico subsequente teve lugar em, pelo menos, duas fases. A primeira originou a Formação de Pedra Malhada e a segunda deu origem à Formação do Monte Penoso. A partir de então, a ilha tem sido erodida, parcialmente aplanada e recoberta por diversas gerações de depósitos Quaternários.

2.4. Geomorfologia

De acordo com Bebiano (1932), o arquipélago de Cabo Verde apresenta um relevo bastante diversificado, variando de ilha para ilha. Assim, ao observar a orografia das ilhas, uma das características que desde logo se destaca é a presença de altos maciços e, por vezes, de notáveis aparelhos vulcânicos que, em alguns casos, conservam alguma frescura. Apenas as ilhas orientais, nomeadamente, Sal, Boa Vista e Maio, apresentam relevos mais atenuados, notando-se mesmo planuras mais ou menos extensas.

Levando em consideração a altitude, pode-se dividir as ilhas em (Quadro 2.4): (i) montanhosas, como Fogo (2829 m), Santo Antão (1979 m), Santiago (1394 m), São Nicolau (1304 m) e Brava (976m); (ii) planas, nomeadamente, Maio (436 m), Sal (406 m), Santa Luzia (395 m) e Boa vista (387 m). A ilha de São Vicente, que apresenta como altitude máxima 725 m, é considerada intermédia (Bebiano, 1932). De salientar que, à excepção de Santa Luzia, as restantes três ilhas planas são as mais orientais do Arquipélago.

Quadro 2.4. Dimensões das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde e altitude dos respectivos pontos culminantes (dados obtidos em Bebiano, 1932).

Tipo	Ilhas	Superfície (Km²)	Pontos culminantes	Altitude (m)
Montanhosas	Fogo	476	Pico do Fogo	2829
	St.º Antão	779	Tope da Coroa	1978
	Santiago	991	Pico de Antónia	1394
	S. Nicolau	343	Monte Gordo	1304
	Brava	64	Fontainhas	976
Intermédia	S. Vicente	227	Monte Verde	725
Planas	Maio	269	Penoso	436
	Sal	216	Monte Grande	406
	St.ª Luzia	35	Topona	395
	Boavista	620	Estância	387

Segundo Mota Gomes *et al.* (2009), existem numerosas e extensas ribeiras, sendo nas ilhas montanhosas muito encaixadas e profundas. Estas depressões apresentam dois tipos de perfis transversais distintos: tipo **U** e tipo **V**. Nos perfis transversais em **U** as depressões estão encaixadas nos mantos basálticos relativamente recentes. Por sua vez, nos perfis transversais em **V**, as depressões estão encaixadas em formações antigas e, por

consequente, com uma certa percentagem de argila.

De acordo com Faria (1987), a geomorfologia da ilha do Maio caracteriza-se essencialmente pela existência de muitas planuras, principalmente nas partes norte e ocidental. Essas planuras ou achadas são estruturalmente de dois tipos diferentes. Uma são chamadas de planuras ou achadas do litoral e as outras, chamadas planuras ou achadas do interior, encontram-se no interior da ilha.

A regularidade das planuras do interior é muito inferior à das planuras do litoral, porque as primeiras foram originadas pela acção fluvial, enquanto as segundas resultaram de erosão marinha (Faria, 1987).

Segundo Bebian (1932), o maciço central é o elemento orográfico dominante da ilha do Maio. Dele ergue-se uma série de montes situados entre as aldeias do Morro, Pilão Cão e Pedro Vaz. Na parte norte, entre as aldeias de Santo António e Cascabulho, encontram-se também montes separados por planuras do interior. Os relevos constituem ramos, formando uma cordilheira ligada ao monte Penoso, o mais alto da ilha, com 436 m de altitude (Figura.2.15). O ramo sul é constituído pelos montes Batalha (294 m), Bombagelim (231 m), Pedregal (222 m) e Fortes (305 m). Por sua vez, o ramo norte inclui os montes Vermelho (226 m) Penoso (436 m) e Cosmo (289 m). Linhas de água desenvolvidas e ramificadas, partem deste maciço central e de outras elevações. Estas linhas de água possuem água apenas na época das chuvas.

Nas planuras litorais evidenciam-se, entre Morrinho e a baía do Galeão e entre Morro e Vila do Maio duas extensas zonas de terrenos salgados, onde o mar penetra, alimentando regularmente as salinas.

As depressões resultam essencialmente da acção da chuva e do vento. Entre o Monte Forte e duas pequenas elevações (Monte Esgrovere e Monte Caliça) situa-se a maior depressão da ilha. Trata-se da Ribeira da Lagoa, resultante da erosão pluvial. Existem ainda pequenas depressões, como a Ribeira de Pai Joana, Ribeira das Casas Velhas, Ribeira do Morro, Ribeira Preta e outras. Os vales são pouco profundos, em nítido contraste com as ilhas montanhosas. De forma a analisar melhor o relevo da ilha do Maio elaboraram-se nove perfis topográficos de acordo com a extensão e a orientação indicadas na Figura 2.15.

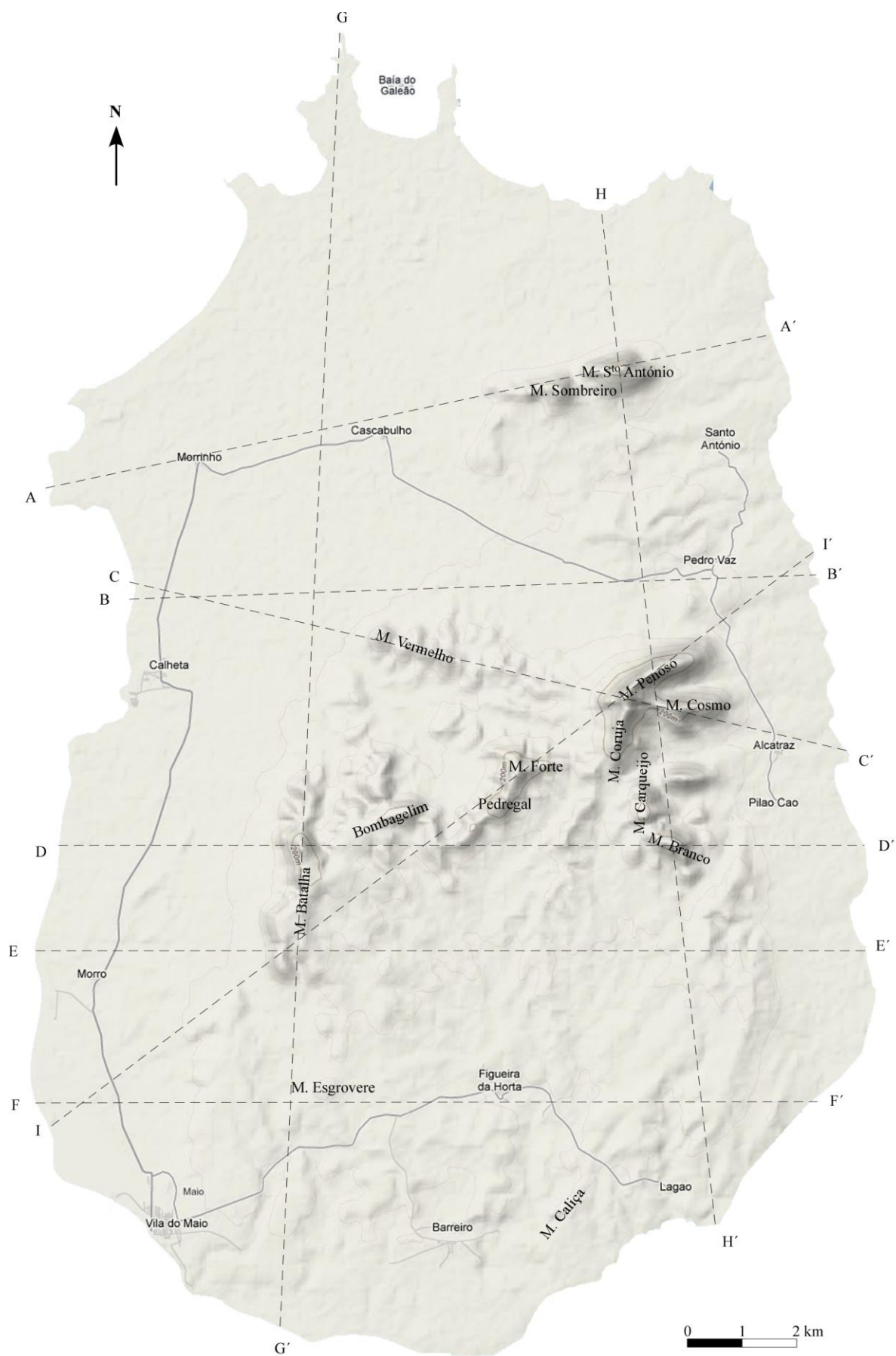


Figura 2.15. Aspecto geral da morfologia da ilha do Maio, assinalando-se as linhas de base dos perfis topográficos realizados (imagem adaptada a partir do Google Earth).

O perfil AA' (Figura 2.16) corresponde à parte norte da ilha, tendo uma extensão de 13.9 km e uma orientação ENE-WSW. Passa pelos pontos culminantes dos montes Sombreiro e Santo António às altitudes de 176 m e 202 m, respectivamente. A parte ocidental deste perfil abrange uma extensa zona aplanada com um declive médio de 0.75% e um declive máximo de 3.8%. Geologicamente, estes terrenos correspondem a formações sedimentares recentes, incluindo aluviões, depósitos de enxurrada, areias, areias da praia, dunas, e cascalheiras. A aproximação aos Montes de Sombreiro e Santo António é feita de uma forma bastante acentuada. O declive médio desta área mais montanhosa é de aproximadamente 15% registando-se um declive máximo de 78% na vertente oriental do Monte de Santo António. O suporte geológico desta área montanhosa é constituído por formações eruptivas, nomeadamente mantos subaéreos e filões (ancaratritos, basanitos, nefelinitos e outros da quarta fase lávica de Serralheiro (1970) e que corresponde à Formação do Monte Penoso proposta por Stillman *et al.* (1982). Para leste do sopé do Monte de Santo António o relevo diminui, até à linha de costa segundo um declive médio de 1.3%. Esta planura litoral é constituída por depósitos sedimentares recentes.

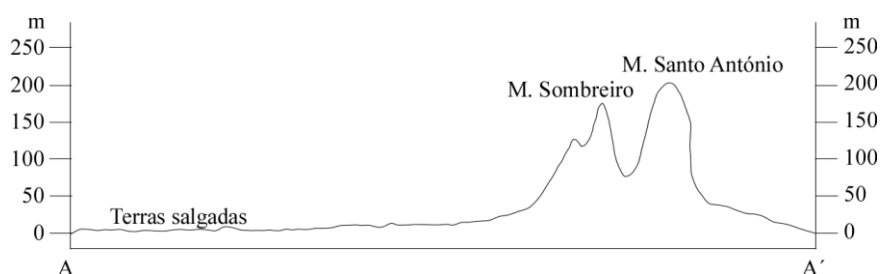


Figura 2.16. Perfil topográfico AA'. Exagero vertical de 14 X.

O perfil BB' (Figura 2.17) tem a direcção W-E e desenvolve-se numa extensão de 12.7 km. Atendendo à tipologia das formações geológicas aflorantes ao longo do perfil, constituídas por depósitos sedimentares recentes e pelo conglomerado de Pedro Vaz (Neogénico), a topografia é marcadamente aplanada, atingindo-se uma altitude máxima de 56 m na região de Pedro Vaz. Os declives médios e máximos são de 1.65% e de 13.8%, respectivamente.



Figura 2.17. Perfil topográfico BB'. Exagero vertical de 14 X.

Não obstante a proximidade entre os perfis BB' e CC' eles são pronunciadamente contrastantes. Este último (Figura 2.18), com uma extensão de 13.8 km e uma orientação WNW-ESSE, atravessa parte do sistema montanhoso do Maciço Central (Figura 2.15). Enquanto permanece nos terrenos sedimentares recentes, o relevo é muito pouco acentuado, com um declive médio ligeiramente inferior a 1%. A partir do momento em que entra nos terrenos eruptivos, o relevo torna-se mais vigoroso, atingindo-se altitudes superiores a 130 m no Monte Vermelho, sucedendo-se a maior elevação da ilha do Maio (Monte Penoso). Segundo a direcção deste perfil, o declive máximo do Monte Penoso é do 49% e o declive médio é ligeiramente superior a 20%. Para leste ocorre uma outra elevação (Monte Cosmo) com características declivosas menos acentuadas que as do Monte Penoso. Atingindo-se a base deste sistema montanhoso o sector oriental deste perfil é marcado por uma planura litoral com um declive médio de 2.1%.

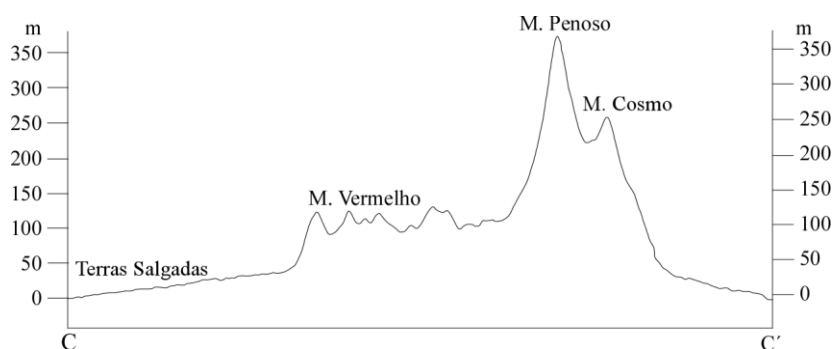


Figura 2.18. Perfil topográfico CC'. Exagero vertical de 14 X.

O perfil DD' (Figura 2.19) corresponde, em termos gerais, ao limite sul do maciço central. Tem uma extensão de 14.8 km e orienta-se segundo W-E. Trata-se de um perfil topográfico relativamente simétrico, abrangendo na parte central várias elevações de que se destacam o Monte Batalha no sector oeste e o Monte Branco no limite este. O declive

médio ao longo deste perfil é de 7.3% embora se atinjam pendores muito mais elevados na vertente ocidental do Monte Batalha (41%).

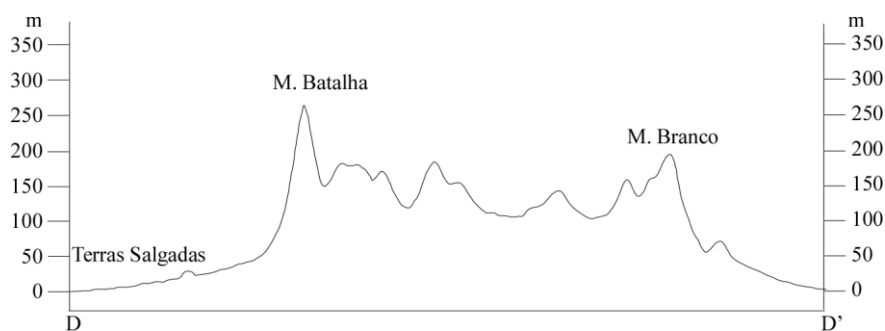


Figura 2.19. Perfil topográfico DD'. Exagero vertical de 14 X.

O perfil topográfico EE' (Figura 2.20) apresenta também uma orientação W-E e desenvolve-se a cerca de 2 km a sul do perfil DD' segundo uma extensão de 15.6 km. Embora intercepte o ramo terminal do Monte Batalha, este perfil caracteriza essencialmente a principal planura do interior, conhecida como Depressão da Ribeira da Lagoa. O declive médio deste perfil é de 3.8% e a altitude máxima (155 m) é atingida no Monte Batalha. A planura da Ribeira da Lagoa situa-se a altitude média de 80 m com elevações que varia entre os 64 m e os 100 m.

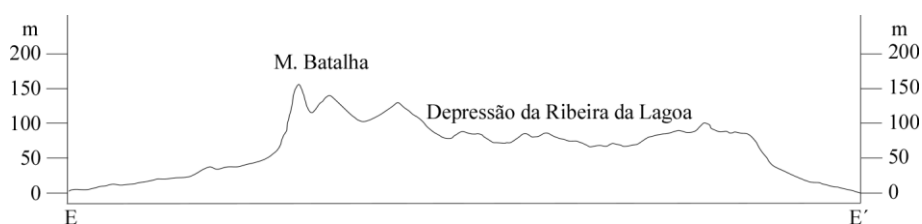


Figura 2.20. Perfil topográfico EE'. Exagero vertical de 14 X.

À semelhança dos dois anteriores, também o perfil FF' (Figura 2.21) se orienta transversalmente ao alongamento da ilha (Figura 2.15). Com uma extensão de 14.3 km, este perfil descreve a topografia do sector meridional da ilha, marcada essencialmente pela depressão da Ribeira da Lagoa. Neste sector, esta depressão apresenta variações

altimétricas entre os 25 m e os 80 m, com um valor médio de 55 m. O declive médio ao longo deste perfil é do 3.1%, embora se possam atingir pontualmente declives da ordem dos 16%.



Figura 2.21. Perfil topográfico FF'. Exagero vertical de 14 X.

O perfil GG' (Figura 2.22) apresenta uma direcção N-S e desenvolve-se numa extensão de 24.2 km. Trata-se de um perfil longitudinal segundo o alongamento da ilha abrangendo quase na sua totalidade áreas planas, apenas interrompidas pela elevação do Monte Batalha. O início do perfil até aos 6 km é marcadamente plano com cotas a variar entre o nível do mar e os 7 m de altitude. Nos 7 km subsequentes, a altitude aumenta gradualmente até aos 60 m de acordo com um gradiente altimétrico médio de 1.1%. A partir daqui o perfil atravessa o Monte Batalha, atingindo-se uma altitude máxima de 224 m. Para sul desta elevação, o relevo torna-se menos acentuado, definindo-se uma planura do interior com uma altitude média de 50 m.

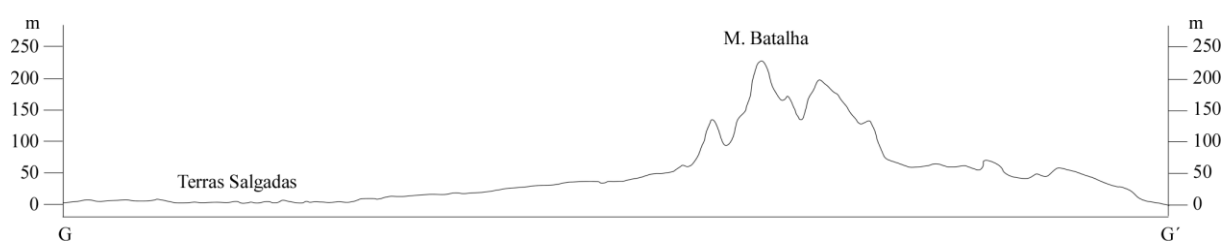


Figura 2.22. Perfil topográfico GG'. Exagero vertical de 14 X.

O perfil HH' (Figura 2.23), é subparalelo ao perfil GG' mas foi elaborado de forma a atravessar, não só as elevações do maciço central mas também a pequena área montanhosa do sector setentrional (Monte de Santo António). Desta forma, trata-se de um perfil acidentado com uma extensão de 19.0 km no qual está também representada a Ribeira

Praia da Guarda cujo vale se desenvolve entre os montes Penoso e Cosmo. O declive médio deste perfil é de 7.5%.

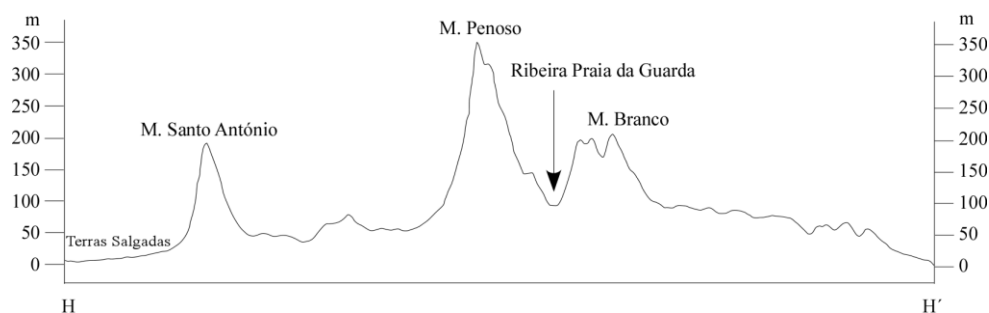


Figura 2.23. Perfil topográfico HH'. Exagero vertical de 14 X.

Com a execução do perfil II' (Figura 2.24) pretende-se evidenciar a sucessão de relevos do maciço central. Este perfil tem uma orientação SW-NE apresentando uma extensão de 18.0 km. No sentido SW-NE o relevo torna-se progressivamente mais vigoroso de acordo com a seguinte sequência: Monte Batalha (174 m), Monte Pedregal (190 m), Monte Fortes (284 m) e Monte Penoso (381 m). Para NE do Monte Penoso o relevo cai abruptamente numa extensão de 2 km segundo um declive médio de 17%. Na parte final do perfil (últimos 2.5 km) o relevo torna-se relativamente aplanado decrescendo até ao nível do mar de acordo com um declive médio de 2%.

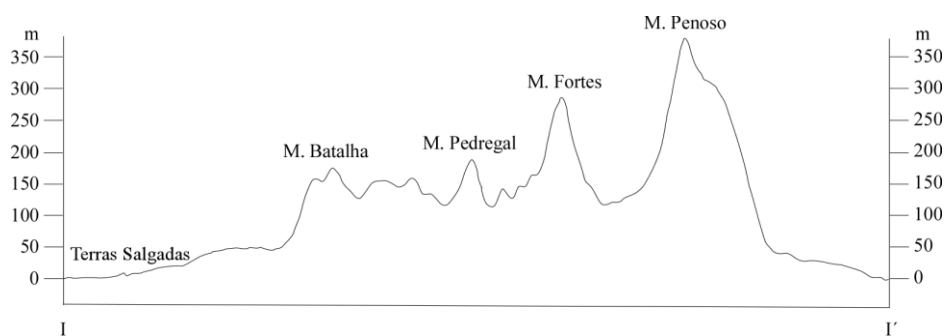


Figura 2.24. Perfil topográfico II'. Exagero vertical de 14 X.

Em síntese, pode dizer-se que a ilha do Maio é uma ilha relativamente plana, na qual sobressai o maciço central, predominantemente constituído por formações eruptivas. As

elevações que constituem este maciço incluem, entre outros, o Monte Batalha, o Monte Bombagelim, o Monte Pedregal, o Monte Fortes, o Monte Penoso, o Monte Cosmo e o Monte Branco. Além destes elementos orográficos, caracterizam a geomorfologia da ilha do Maio as planuras mais ou menos extensas de que se destacam, no litoral, as extensas áreas denominadas de Terras Salgadas e, no interior, a planura da Ribeira da Lagoa.

2.5. Recursos Hídricos

Citando um estudo incluído no Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Mota Gomes (2007) refere que a precipitação que cai sobre as ilhas do Arquipélago de Cabo Verde se reparte, em termos médios, da seguinte forma: 67% evapora-se; 20% escoam-se à superfície; 13% recarrega os aquíferos.

O mesmo autor faz uma estimativa dos recursos hídricos totais em ano médio apresentando um valor que ascende a 305 milhões de metros cúbicos por ano. Destes, 124 milhões correspondem a recursos hídricos subterrâneos e os restantes 181 milhões constituem os recursos hídricos superficiais. Não obstante, o mesmo autor salienta que apenas 65 milhões de metros cúbicos de água subterrânea são tecnicamente exploráveis.

No Quadro 2.5 apresenta-se a distribuição dos recursos hídricos pelas ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, de acordo com dados obtidos em Mota Gomes (2007).

Quadro 2.5. Recursos hídricos das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde em milhões de m³/ano. Dados obtidos em Mota Gomes (2007).

Ilha	Precipitação (mm)	Água Superficial	Água Subterrânea		
			Bruto (período médio)	Explorável (período médio)	Explorável (período seco)
Santo Antão	186	27,0	28,6	21,3	14,5
S. Vicente	21	2,3	0,6	0,4	0,2
S. Nicolau	49	5,9	4,2	2,5	1,5
Sal	13	0,7	0,4	0,1	0,05
Boa Vista	42	2,5	1,6	0,7	0,3
Maio	41	4,7	2,1	0,9	0,5
Santiago	323	56,6	42,4	26,0	16,5
Fogo	233	79	42	12,0	9,3
Brava	17	2,3	1,9	1,6	1,0
Cabo Verde	925	181	124	65	44

Como se observa, a ilha de Santiago é a que apresenta recursos hídricos mais abundantes, tanto a nível superficial como subterrâneo. No extremo oposto está a ilha do Sal, onde os recursos hídricos totais anuais são, em ano médio, da ordem de um milhão de metros cúbicos. Esta discrepância em termos do potencial hídrico é explicada, não só pelo diferencial de precipitação mas também pela área das diferentes ilhas. Com efeito, enquanto a ilha de Santiago é a maior ilha do Arquipélago, a ilha do Sal é uma das mais pequenas. Por outro lado aquela ilha é montanhosa, proporcionando maiores precipitações, o que não acontece na ilha do Sal que é uma das ilhas mais planas. No contexto do Arquipélago, os recursos hídricos superficiais da ilha do Maio representam cerca de 2.6% e os recursos subterrâneos não ultrapassam 1.7% do total. A população desta ilha beneficia destes recursos hídricos essencialmente através da canalização por rede pública, chafarizes e poços. Além disso, em algumas povoações, a água doce é obtida a partir da dessalinização da água do mar. Noutras, a água é fornecida a partir de autotanques. Na Figura 2.25 está representada a distribuição das formas de abastecimento de água à população por localidades, de acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística relativos ao censo de 2000. Posto isto, importa salientar que a maioria da população é beneficiada através de chafarizes, como é o caso das populações de Pedro Vaz, Morro e Barreiro, onde esta forma de distribuição constitui cerca de 75% de todas as formas de abastecimento. Nas zonas de Ribeira Dão João e Praia Gonçalo há um maior número do uso de poços pelas populações locais chegando até mesmo ao uso total na localidade de Ribeira Dão João situada a sul da ilha. Este tipo de abastecimento verifica-se mais pronunciadamente na parte este da ilha. A utilização da água através da rede pública é mais verificada no sector NW da ilha coincidindo com a zona das Terras Salgadas e destacando em particular a localidade de Cascabulho situada ao norte. Existem outras formas de abastecimento da água pelas populações como é o caso de cisternas, autotanques, nascentes e levadas que, como podemos constatar na Figura 2.25, é o menos recorrido.

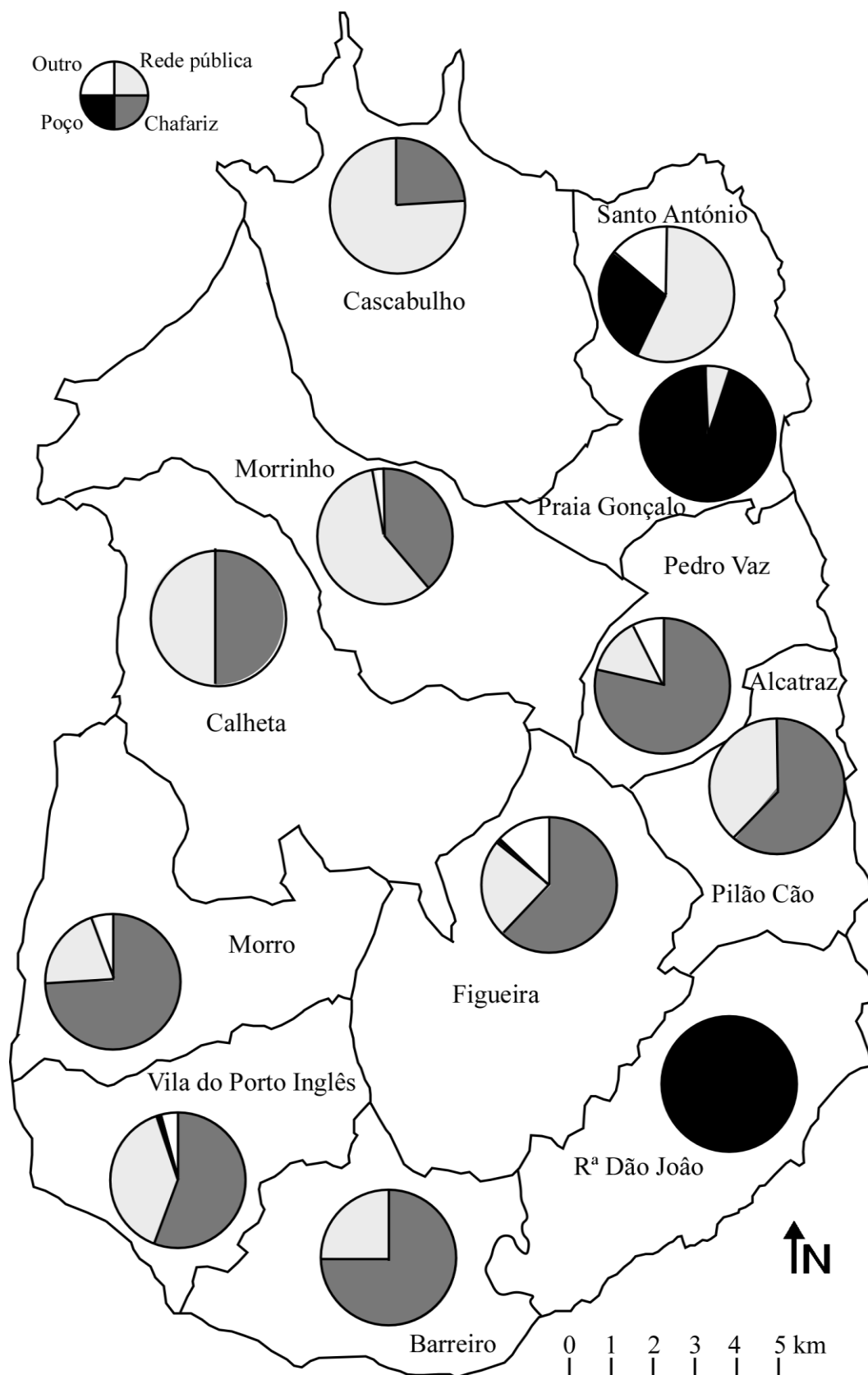


Figura 2.25. Formas do abastecimento da água na ilha do Maio por localidades.

2.6. Unidades Hidrogeológicas

Vailleux e Bourguet (1974) apresentam um esquema hidrogeológico geral para o Arquipélago de Cabo Verde constituído por três grandes unidades: (i) unidade de base, (ii) unidade intermédia e (iii) unidade recente.

2.6.1. Unidade de Base

A Unidade de Base é constituída pelas formações mais antigas como é o caso do Complexo Eruptivo Interno Antigo (Ante – Miocénico Médio), da formação de mantos basálticos submarinos antigos (Miocénico Médio) e a Formação Conglomerático-Brechóide (Miocénico Médio). Estas formações apresentam globalmente uma permeabilidade reduzida devido essencialmente ao elevado grau de alteração, que contribui também para a diminuição da capacidade de infiltração. Como tal, de um modo geral, esta unidade de base funciona essencialmente como uma barreira hidrogeológica, podendo o seu topo corresponder à base dos aquíferos subjacentes. No entanto, como salientam Vailleux e Bourguet (1974), as formações da série de base podem apresentar características aquíferas. Aliás, na ilha do Maio o Complexo Eruptivo Interno Antigo desempenha um papel hidrogeológico importante, por se encontrar bastante fracturado e pouco alterado (Vailleux e Bourguet, 1974).

As águas desta unidade são geralmente muito mineralizadas, devido, pelo menos em parte, a baixa permeabilidade das formações que as constituem o que favorece o fenómeno da interacção água/rocha.

2.6.2. Unidade Intermédia

A Unidade Intermédia, essencialmente constituída pelo Complexo Eruptivo Principal (Miocénico – Pliocénico), caracteriza-se por ser a formação mais espessa e mais extensa na generalidade das ilhas de Cabo Verde. Estas características, aliadas à elevada capacidade de armazenamento e à permeabilidade reduzida, tornam esta unidade o principal aquífero do Arquipélago. Além disso, a recarga desta unidade é favorecida por dois processos. O primeiro prende-se com o facto de estas formações constituírem os principais relevos das diferentes ilhas, onde a precipitação é maior. O segundo aspecto está relacionado com a elevada permeabilidade das formações subjacentes as quais, não tendo capacidade de

reter água, cedem-na às formações subjacentes, ou seja, as que constituem a unidade intermédia.

A mineralização das águas associadas a esta unidade é muito inferior à da unidade de base (Vailleux e Bourguet, 1974).

2.6.3. Unidade Recente

A Unidade Recente é constituída por material piroclástico basáltico e derrames associados, com alto grau de permeabilidade e de porosidade relativamente elevada em relação às outras formações geológicas. Fazem parte desta unidade a formação de cones vulcânicos (Pliocénico-Quaternário) e as formações sedimentares recentes. Trata-se de uma unidade altamente permeável, privilegiando desta forma a infiltração. No entanto, como se referi anteriormente, não permite a retenção da água, o que faz com que a mesma seja drenada para níveis inferiores.

À semelhança da unidade intermédia também as águas da unidade recente são muito pouco mineralizadas (Vailleux e Bourguet, 1974). Aliás, como salientam estes autores, a mineralização das águas é, de um modo geral, proporcional à idade das formações geológicas.

CAPÍTULO 3

HIDROCLIMATOLOGIA

Em estudos hidrogeológicos é necessário conhecer outras etapas do ciclo hidrológico, já que há uma relação estreita de interdependência nas diferentes fases. Com efeito, a maioria das águas subterrâneas provém da precipitação pelo que o seu estudo não pode ser dissociado do conhecimento do fenómeno que lhe dá origem. Neste sentido, faz-se de seguida o estudo de alguns parâmetros climáticos, como a precipitação e a temperatura, visando quantificar os recursos hídricos totais da ilha do Maio e efectuar uma estimativa da água armazenada no meio subterrâneo. Para o efeito recorreu-se a dados climáticos obtidos no âmbito da rede climatológica desta ilha.

A rede climatológica da ilha do Maio é constituída por 11 estações, das quais uma corresponde a uma estação climatológica completa e as restantes são estações udométricas. Na Figura 3.1 mostra-se o aspecto de um dos udómetros da rede climatológica.



Figura 3.1. Aspecto de uma estação udométrica incluída na rede climatológica da ilha do Maio.

Na Figura 3.2 pode observar-se a distribuição espacial das estações referidas e no Quadro 3.1 apresentam-se as coordenadas das mesmas.

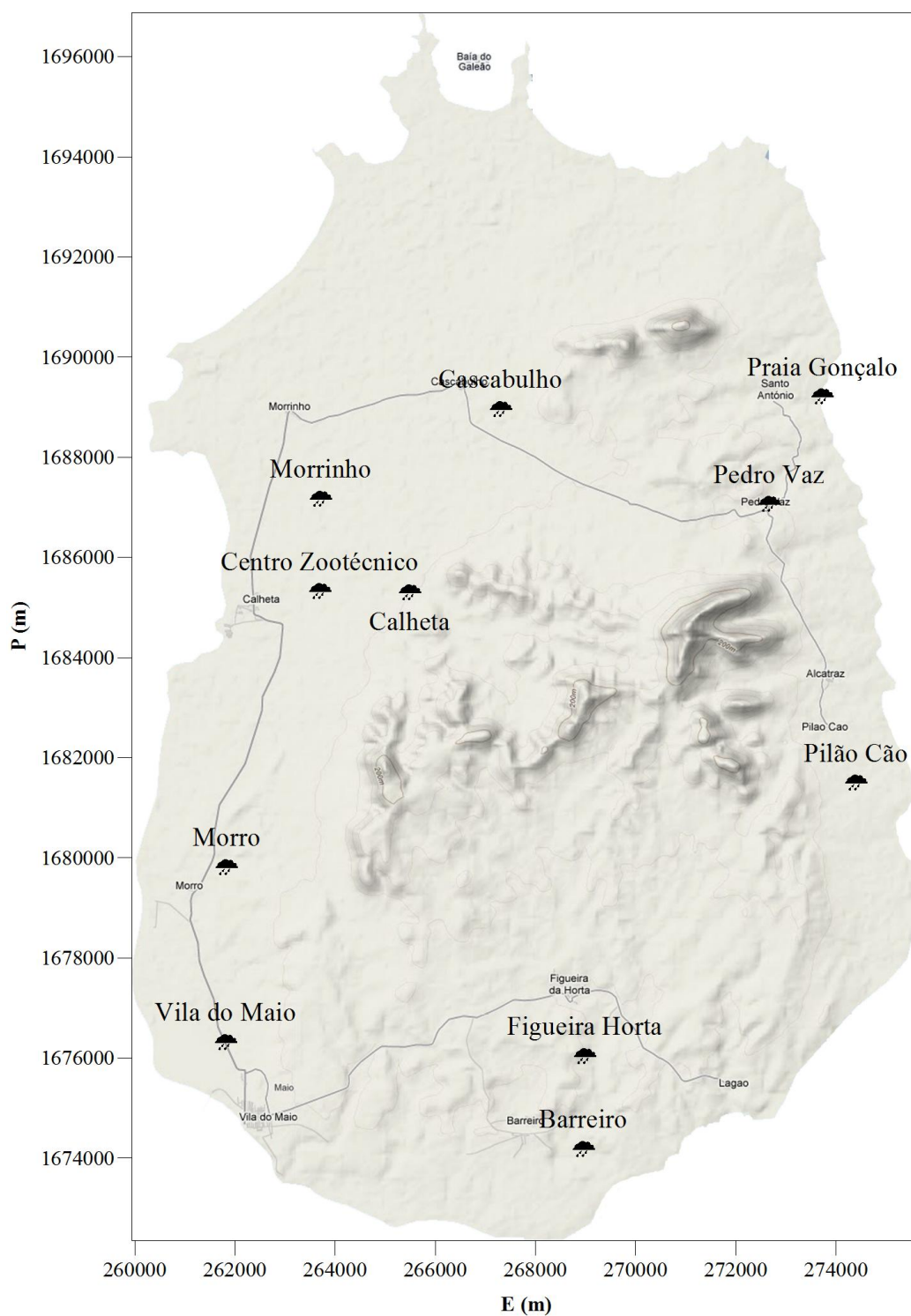


Figura 3.2. Rede climatológica da ilha do Maio

Os dados climatológicos relativos a estas estações foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG). Dada a tipologia das estações, à excepção da Calheta, dispõe-se apenas de dados pluviométricos. Nesta estação está também disponível informação relativa à temperatura, à humidade relativa, à insolação e à velocidade do vento.

Quadro 3.1. Coordenadas das estações que constituem a rede climatológica da ilha do Maio (dados fornecidos pelo INMG).

Estação	Tipo	E (m)	N (m)	Altitude (m)
Calheta	Climatológica	15°, 14´	-23°, 11´	26
Vila do Maio	Udométrica	15°, 08´	-23°, 12´	22
Pedro Vaz	Udométrica	15°, 15´	-23°, 07´	39
Pilão Cão	Udométrica	15°, 12´	-23°, 06´	34
Barreiro	Udométrica	15°, 08´	-23°, 09´	32
Cascabulho	Udométrica	15°, 16´	-23°, 10´	22
Centro Zootécnico	Udométrica	15°, 14´	-23°, 12´	11
Figueira Horta	Udométrica	15°, 09´	-23°, 09´	28
Morrinho	Udométrica	15°, 15´	-23°, 12´	9
Morro	Udométrica	15°, 11´	-23°, 13´	22
Praia Gonçalo	Udométrica	15°, 16´	-23°, 06´	29

3.1. Precipitação

A precipitação em quantidades significativas produz-se mediante dois tipos de mecanismos básicos: (i) ascensão espontânea de ar húmido; (ii) ascensão forçada de ar contendo humidade. O primeiro está relacionado com a convecção, um movimento da atmosfera que consiste em fortes correntes ascendentes incluídas em células de convecção. Este ar eleva-se subitamente na célula, devido à sua menor densidade relativamente ao ar que o rodeia. À medida que sobe, vai arrefecendo, dando início à condensação, originando por sua vez a precipitação. O ar susceptível de elevar-se de forma espontânea durante a condensação denomina-se de ar instável. Por outro lado, a ascensão forçada de ar húmido ocorre em condições iniciais muito diferentes. Quando os ventos predominantes colidem com um sistema montanhoso, a massa de ar, como um todo, tende a subir e superar a barreira. A precipitação que se produz desta forma denomina-se de precipitação orográfica e esta relacionada com a presença de montanhas (Strahler e Strahler, 1989).

No que respeita à precipitação da ilha do Maio, os dados disponíveis são relativos ao período de 1961 a 2009. Contudo, a maioria das estações iniciou o seu funcionamento no final da década de 70, pelo que os registos destas estações abrangem um intervalo de tempo relativamente curto. No Quadro 3.2 são apresentados os totais anuais de cada estação.

Como se observa no Quadro 3.2, todas as séries pluviométricas apresentam lacunas, pelo que é necessário completá-las. Considerando que apenas duas estações (Calheta e Vila do Maio) possuem dados pluviométricos anteriores a 1978, desprezaremos os dados destas estações anteriores ao ano de 1978. Como tal, nos cálculos da precipitação média serão

utilizadas as séries pluviométricas relativas ao período de 1978 a 2009. No entanto, não foram considerados os anos de 1980, 2006, 2007 e 2008 por não existirem dados em nenhuma das estações. Por isso, estas séries contêm 28 anos em vez de 32.

Quadro 3.2. Dados pluviométricos anuais disponíveis nas estações da rede climatológica da ilha do Maio.

Ano	Calheta	Vila do Maio	Pedro Vaz	Pilão Cão	Barreiro	Cascabulho	Centro Zootécnico	Figueira Horta	Morrinho	Morro	Praia Gonçalves
1961		217.6									
1962		112.6									
1963		85.4									
1964		157.4									
1965		159.8									
1966	264.4	288.7									
1967		249.6									
1968	66.8	44.6									
1969		125.8									
1970	107.2	79.0									
1971	145.2	129.6									
1972	19.1	5.0									
1973	66.9	72.4									
1974	130.1	54.5									
1975											
1976	194.8										
1977	3.1										
1978		130.5				66.4	76.2				
1979	46.3	155.8	120.8	65.0		207.7	142.5	154.3			40.5
1980											
1981	237.3	60.8	184.8	109.5	47.6	192.0	191.4	77.2	155.1	52.0	187.0
1982	59.3	71.5	84.0	70.0	71.1	79.3	74.0	44.5	56.0	70.5	41.4
1983	110.2	65.0	109.0	128.0	50.0	54.5	113.1	54.0	80.8		73.0
1984	343.1	178.0	16.0	148.5	112.7		306.5	144.7	294.5		
1985	103.3	99.3	112.4	67.9	81.5	59.5	148.5	148.7	94.5		66.3
1986	302	0.5	179.0	93.0	167.1	262.3	197.0	73.8	220.0	156.0	92.0
1987	296	225.5	368.5	320.4	219.6	268.8	289.5	272.2	239.0		256.7
1988	78.5	172.6	164.5			163.0	281.5	96.4	356.0		174.0
1989	231	117.5	248.0	142.5	61.0	309.7	264.0	88.5	243.5		286.0
1990	219.7	170.1	208.9	197.4	208.4	202.7	228.3	252.2	128.6	183.6	138.9
1991	26.7	51.0	130.0			150.0	277.0	88.0	209.0	150.0	130.0
1992	227.4	118.3	77.4	109.3	55.1	58.5	127.5	150.1	113.5	128.0	3.0
1993	128.6				18.5	105.2					
1994	36.2	45.1	3.5	2.0	17.2	11.0	21.7	22.5	30.5	50.0	2.3
1995	17.7	40.0				21.0					
1996	44	40.0	8.0	6.0	65.0	12.0	36.2		10.0	30.2	10.0
1997	153.4	188.3	182.0	136.5	158.3	93.4	177.3		130.4	154.5	
1998	34.5	51.0					45.7			19.0	
1999					382.0	248.0	266.3		336.0	338.0	
2000	157.0				106.0	122.0	147.0		140.5	220.0	
2001	99.0	141.4			66.3	23.0	140.5		89.0	31.0	
2002	86.2			72.0			47.6		15.0		
2003	314.5	329.8	249.5	279.5	188.0	237.4	289.0	280.0	202.0	316.2	273.8
2004			168.0	105.0		204.2	140.0	158.1		180.1	114.0
2005		110.4	62.6	61.5		40.0	53.4	94.5		51.0	
2006											
2007											
2008											
2009	342.7	329.0	188.1	298.8	408.2	224.0	329.7	390.4		255.3	176.7

3.1.1. Complemento de séries

Para o complemento das séries adoptaram-se modelos de regressão linear, baseados no critério dos mínimos quadrados. Para cada caso, a estação utilizada para completar foi seleccionada com base na dependência estocástica entre as séries envolvidas, avaliada pelo valor do coeficiente de determinação (r^2), como se observa no Quadro 3.3. Após este procedimento, obtiveram-se as séries pluviométricas completas, apresentadas no Quadro 3.4.

Quadro 3.3. Dados relativos ao complemento das séries pluviométricas.

Estação a completar	Nº de anos em falta	Estação utilizada	Equação utilizada	R ²
Centro Zootécnico	2	Calheta	$Y=0.802X+29.458$	0.824
Calheta	5	Centro Zootécnico	$Y=1.0278X+0.7695$	0.824
Figueira Horta	10	Vila do Maio	$Y = 1.0036X - 0.2854$	0.755
Pilão Cão	9	Centro Zootécnico	$Y = 0.7745X - 1.5725$	0.721
Cascabulho	3	Centro Zootécnico	$Y = 0.8268X + 22.371$	0.564
Pedro Vaz	8	Cascabulho	$Y = 0.7019X + 43.034$	0.663
Morrinho	8	Centro Zootécnico	$Y = 1.0002X - 24.038$	0.814
Barreiro	9	Morrinho	$Y = 0.8665X - 5.1135$	0.541
Vila do Maio	6	Barreiro	$Y = 0.6221X + 61.476$	0.575
Morro	11	Morrinho	$Y = 0.8707X + 22.858$	0.691
Praia Gonçalo	11	Pedro Vaz	$Y = 0.9507X - 25.903$	0.791

3.1.2. Verificação da consistência de dados e sua correcção

Os erros relacionados com as medições de precipitação são geralmente baixos mas tendem a originar valores abaixo dos esperados (Wanielista, 1990). Nas séries de precipitação podem ocorrer erros de dois tipos: (i) erros sistemáticos e (ii) erros acidentais.

Os *erros sistemáticos* podem ser devidos a:

- localização do equipamento de medição em zona de microclima;
- mudança de local do equipamento de medição;
- má calibração do equipamento.

Os *erros acidentais* incluem:

- observações e leituras mal efectuadas;

- leitura de dados em intervalos de tempo diferentes dos recomendados;
- invenção de dados;
- erros devido a evaporação;
- transbordo do udómetro em dias de fortes precipitações;
- udómetro perfurado ou perdas de água na passagem para a proveta;
- erros de transcrição e/ou cálculo;
- erros de cópia e/ou impressão;
- colocação do udómetro em local errado.

Quadro 3.4. Séries pluviométricas completas relativas ao período de 1978 a 2009 (\bar{x} - média; Med - mediana; s - desvio padrão, c.v. - coeficiente de variação).

Ano	Calheta	Vila do Maio	Pedro Vaz	Pilão Cão	Barreiro	Cascabulho	Centro Zootécnico	Figueira Horta	Morrinho	Morro	Praia Gonçalo
1978	75.9	130.5	89.6	57.4	40.1	66.4	76.2	130.7	52.2	68.3	59.3
1979	46.3	155.8	120.8	65.0	97.6	207.7	142.5	154.3	118.5	126.0	40.5
1981	237.3	60.8	184.8	109.5	47.6	192.0	191.4	77.2	155.1	52.0	187.0
1982	59.3	71.5	84.0	70.0	71.1	79.3	74.0	44.5	56.0	70.5	41.4
1983	110.2	65.0	109.0	128.0	50.0	54.5	113.1	54.0	80.8	93.2	73.0
1984	343.1	178.0	160.0	148.5	112.7	275.8	306.5	144.7	294.5	279.3	126.2
1985	103.3	99.3	112.4	67.9	81.5	59.5	148.5	148.7	94.5	105.1	66.3
1986	302.0	165.4	179.0	93.0	167.1	262.3	197.0	73.8	220.0	156.0	92.0
1987	296.0	225.5	368.5	320.4	219.6	268.8	289.5	272.2	239.0	231.0	256.7
1988	290.6	172.6	164.5	216.4	303.4	163.0	281.5	96.4	356.0	332.8	174.0
1989	231.0	117.5	248.0	142.5	61.0	309.7	264.0	88.5	243.5	234.9	286.0
1990	219.7	170.1	208.9	197.4	208.4	202.7	228.3	252.2	128.6	183.6	138.9
1991	267.0	51.0	130.0	213.0	176.0	150.0	277.0	88.0	209.0	150.0	130.0
1992	227.4	118.3	77.4	109.3	55.1	58.5	127.5	150.1	113.5	128.0	3.0
1993	128.6	73.0	116.9	101.1	18.5	105.2	132.6	73.0	108.6	117.4	85.2
1994	36.2	45.1	35.0	20.0	17.2	11.0	21.7	22.5	30.5	50.0	2.3
1995	17.7	40.0	57.8	32.2	11.9	21.0	43.7	39.9	19.6	39.9	29.0
1996	44.0	40.0	8.0	6.0	65.0	12.0	36.2	39.9	10.0	30.2	10.0
1997	153.4	188.3	182.0	136.5	158.3	93.4	177.3	188.7	130.4	154.5	147.1
1998	34.5	51.0	85.3	33.8	13.7	60.2	45.7	50.9	21.7	19.0	55.2
1999	274.7	299.1	217.1	204.7	382.0	248.0	266.3	299.9	336.0	338.0	180.5
2000	157.0	127.4	128.7	112.3	106.0	122.0	147.0	127.6	140.5	220.0	96.4
2001	99.0	141.4	59.2	107.2	66.3	23.0	140.5	141.6	89.0	31.0	30.4
2002	86.2	66.4	86.4	72.0	7.9	61.7	47.6	66.3	15.0	35.9	56.2
2003	314.5	329.8	249.5	279.5	188.0	237.4	289.0	280.0	202.0	316.2	273.8
2004	142.6	120.8	168.0	105.0	95.4	204.2	140.0	158.1	116.0	180.1	114.0
2005	52.1	110.4	62.6	61.5	20.3	40.0	53.4	94.5	29.4	51.0	33.6
2009	342.7	329.0	188.1	298.8	408.2	224.0	329.7	390.4	305.7	255.3	176.7
\bar{x}	167.6	133.7	138.6	125.3	116.1	136.2	163.8	133.9	139.8	144.6	105.9
Med	148.0	119.6	124.7	108.3	76.3	113.6	144.8	112.0	117.2	127.0	88.6
S	107.4	82.9	77.4	83.3	108.1	94.1	95.5	91.5	102.4	99.0	80.6
c.v.	0.64	0.62	0.56	0.66	0.93	0.69	0.58	0.68	0.73	0.68	0.76

Para a verificação da ocorrência de erros utilizam-se diagramas de dupla acumulação (Figura 3.3). Esta metodologia consiste em lançar num gráfico de eixos ortogonais com escalas aritméticas os valores acumulados da estação a verificar em função dos valores acumulados da chamada “estação tipo”.

Os erros são verificados pela falta de alinhamento dos dados segundo uma linha recta. Um erro sistemático tende a produzir padrões gráficos não rectilíneos, enquanto um erro de tipo accidental desloca os pontos representativos dos pares de valores paralelamente ao eixo correspondente aos dados da estação tipo (Lima, 2001).

De acordo com Heras (1976), o estabelecimento da estação tipo cumpre alguns critérios, tais como:

- o número de estações que formam a estação tipo não deve ser inferior a 3;
- a distância entre elas não deve ultrapassar 50 km;
- devem ter precipitação semelhante;
- a diferença de cotas não deverá ser superior a 300 metros;
- as estações deverão assumir uma distribuição geográfica semelhante.

No presente estudo não foi possível obedecer os critérios anteriormente enunciados, tendo-se optado por considerar que a estação do Centro Zootécnico poderia constituir a estação tipo, por apresentar a série de dados mais completa e uma certa homogeneidade desses mesmos dados.

Não obstante as limitações antes referidas, procedeu-se à elaboração dos diferentes diagramas de dupla acumulação (Figura 3.3), na tentativa de identificar erros e proceder à sua correcção, visando a obtenção de dados pluviométricos mais consistentes.

Como se observa na Figura 3.3, identificam-se erros accidentais nas estações de Vila do Maio e Morro. Erros sistemáticos foram detectados nestas estações e na estação de Figueira Horta. Após a correcção dos diferentes erros detectados obtiveram-se os dados apresentados no Quadro 3.5, tendo-se recalculado os parâmetros estatísticos de cada série.

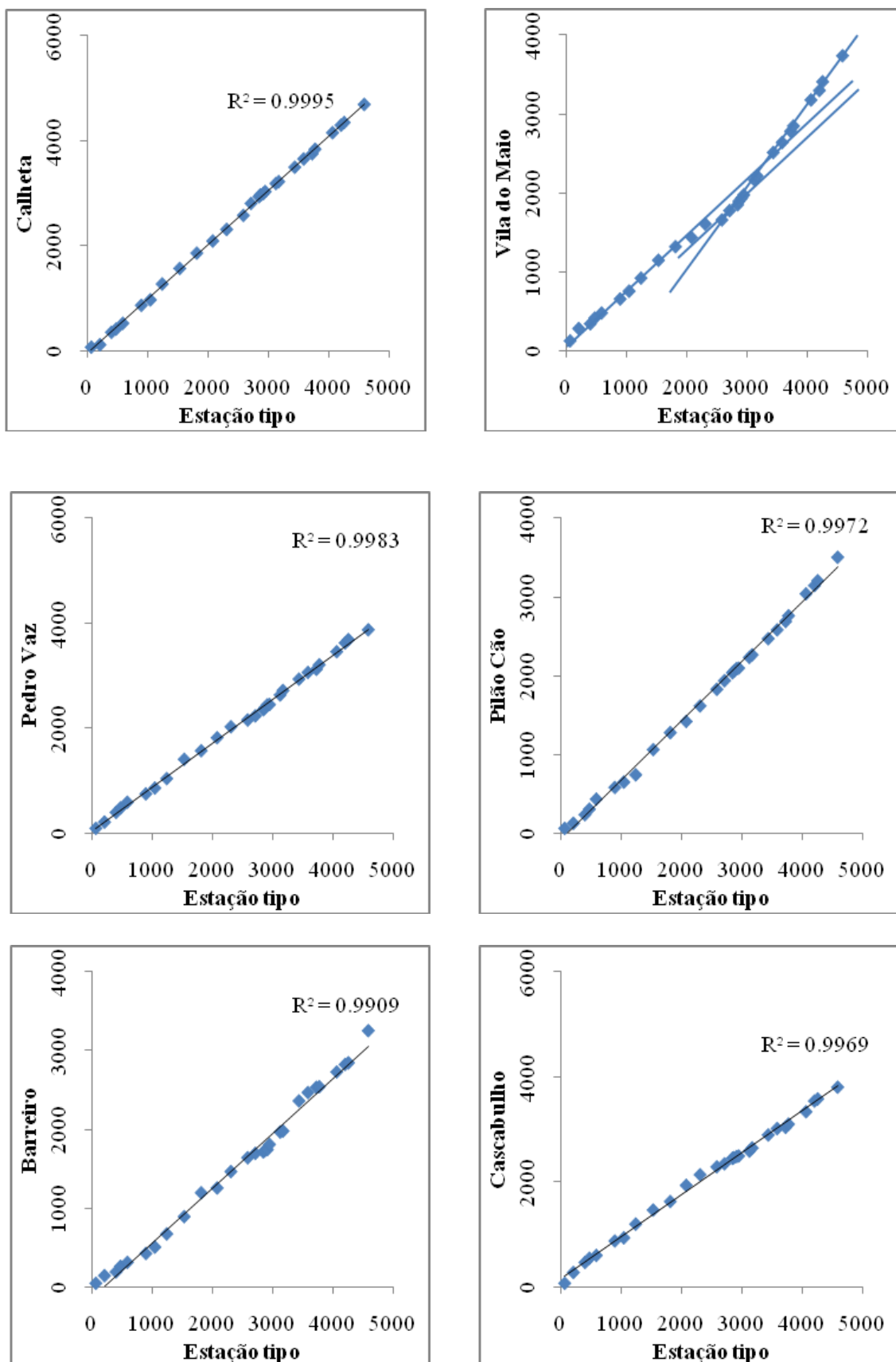


Figura 3.3. Diagramas de dupla acumulação (valores em mm).

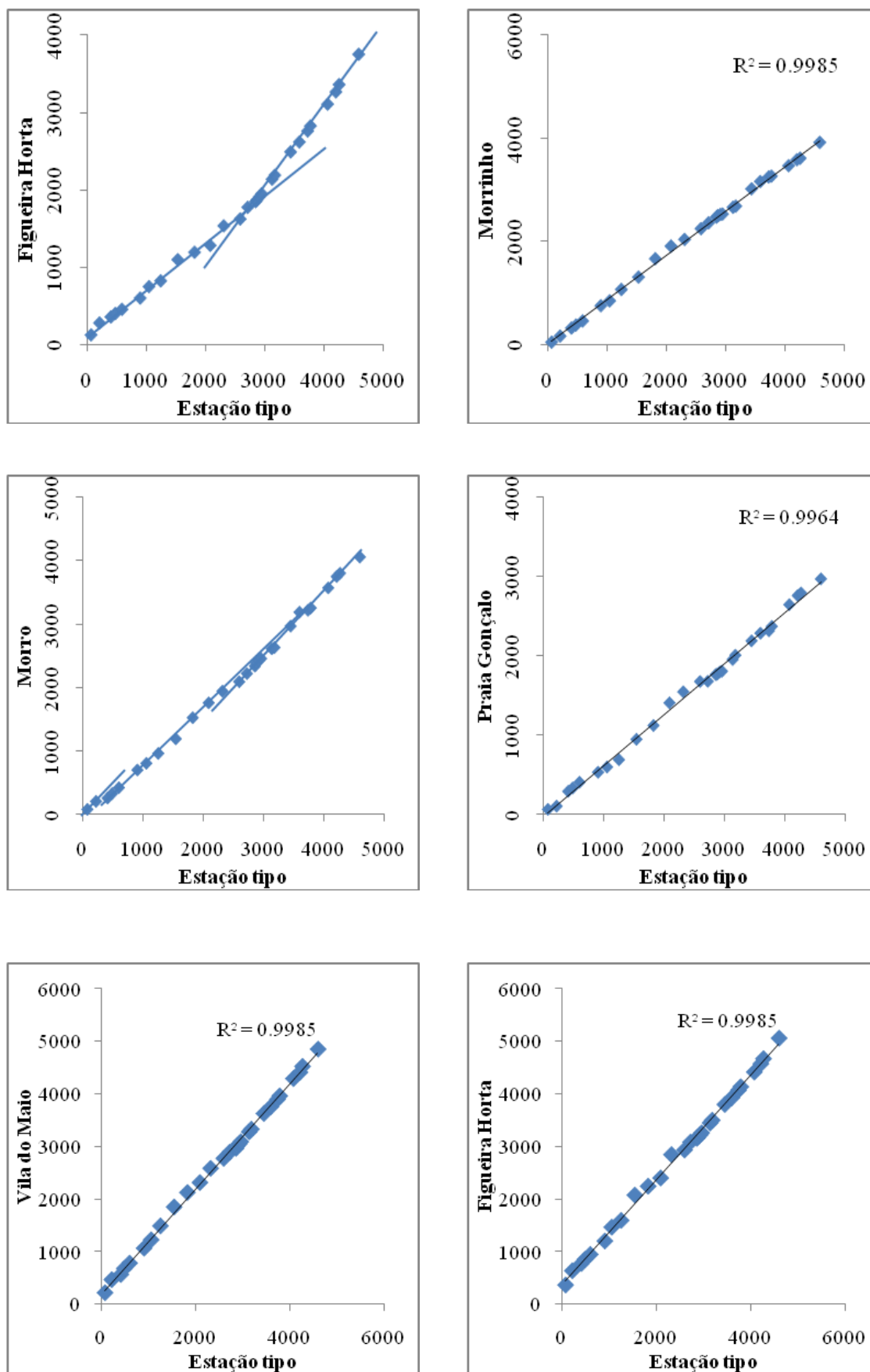


Figura 3.3. (cont.).

Quadro 3.5. Séries de precipitação completas e corrigidas (valores em mm).

Ano	Calheta	Vila do Maio	Pedro Vaz	Pilão Cão	Barreiro	Cascabulho	Centro Zootécnico	Figueira Horta	Morrinho	Morro	Praia Gonçalves
1978	75.9	208.8	89.6	57.4	40.1	66.4	76.2	368.3	52.2	77.8	59.3
1979	46.3	249.3	120.8	65.0	97.6	207.7	142.5	271.6	118.5	143.7	40.5
1981	237.3	97.3	184.8	109.5	47.6	192.0	191.4	135.9	155.1	190.4	187.0
1982	59.3	114.4	84.0	70.0	71.1	79.3	74.0	78.3	56.0	80.4	41.4
1983	110.2	104.0	109.0	128.0	50.0	54.5	113.1	95.0	80.8	106.3	73.0
1984	343.1	284.8	160.0	148.5	112.7	275.8	306.5	254.7	294.5	318.4	126.2
1985	103.3	158.9	112.4	67.9	81.5	59.5	148.5	261.7	94.5	119.9	66.3
1986	302.0	264.7	179.0	93.0	167.1	262.3	197.0	129.9	220.0	177.8	92.0
1987	296.0	360.8	368.5	320.4	219.6	268.8	289.5	479.1	239.0	263.3	256.7
1988	290.6	276.2	164.5	216.4	303.4	163.0	281.5	169.7	356.0	379.4	174.0
1989	231.0	188.0	248.0	142.5	61.0	309.7	264.0	155.8	243.5	267.8	286.0
1990	219.7	272.2	208.9	197.4	208.4	202.7	228.3	443.9	128.6	209.3	138.9
1991	267.0	189.9	130.0	213.0	176.0	150.0	277.0	88.0	209.0	150.0	130.0
1992	227.4	118.3	77.4	109.3	55.1	58.5	127.5	150.1	113.5	128.0	3.0
1993	128.6	73.0	116.9	101.1	18.5	105.2	132.6	73.0	108.6	117.4	85.2
1994	36.2	45.1	35.0	20.0	17.2	11.0	21.7	22.5	30.5	50.0	2.3
1995	17.7	40.0	57.8	32.2	11.9	21.0	43.7	39.9	19.6	39.9	29.0
1996	44.0	40.0	8.0	6.0	65.0	12.0	36.2	39.9	10.0	30.2	10.0
1997	153.4	188.3	182.0	136.5	158.3	93.4	177.3	188.7	130.4	154.5	147.1
1998	34.5	51.0	85.3	33.8	13.7	60.2	45.7	50.9	21.7	19.0	55.2
1999	274.7	299.1	217.1	204.7	382.0	248.0	266.3	299.9	336.0	338.0	180.5
2000	157.0	127.4	128.7	112.3	106.0	122.0	147.0	127.6	140.5	220.0	96.4
2001	99.0	141.4	59.2	107.2	66.3	23.0	140.5	141.6	89.0	31.0	30.4
2002	86.2	66.4	86.4	72.0	7.9	61.7	47.6	66.3	15.0	35.9	56.2
2003	314.5	329.8	249.5	279.5	188.0	237.4	289.0	280.0	202.0	316.2	273.8
2004	142.6	120.8	168.0	105.0	95.4	204.2	140.0	158.1	116.0	180.1	114.0
2005	52.1	110.4	62.6	61.5	20.3	40.0	53.4	94.5	29.4	51.0	33.6
2009	342.7	329.0	188.1	298.8	408.2	224.0	329.7	390.4	305.7	255.3	176.7
\bar{x}	167.6	173.2	138.6	125.3	116.1	136.2	163.8	180.5	139.8	159.0	105.9
Med	148.0	150.1	124.7	108.3	76.3	113.6	144.8	145.9	117.2	146.8	88.6
S	107.4	98.9	77.4	83.3	108.1	94.1	95.5	126.7	102.4	104.8	80.6
c.v	0.64	0.57	0.56	0.66	0.93	0.69	0.58	0.70	0.73	0.66	0.76

3.1.3. Precipitação média anual

Com base nos valores médios de precipitação expressos no Quadro 3.5, pode determinar-se a precipitação média em toda a ilha, recorrendo a diversos métodos. Neste estudo irão ser utilizados os métodos da média aritmética e de Thiessen ou das áreas de influência.

A média aritmética consiste na relação entre o somatório dos valores da precipitação entre os vários pontos existentes numa determinada área e o número desses pontos. Este é o método mais simples, cuja aplicação tem como objectivo principal uma caracterização

genérica de uma região. Em zonas climáticas e fisiograficamente homogêneas pode dar boas aproximações; em zonas mais acidentadas deve usar-se com muita prudência e complementado sempre com outros métodos. O rigor deste procedimento aumenta significativamente com a densidade de udómetros (Lima, 1994).

O método de Thiessen ou das áreas de influência é um dos mais usados para o cálculo da precipitação ponderada numa dada região. O procedimento consiste em unir, por segmentos de recta, os pontos adjacentes ao posto considerado. As mediatrizes destes segmentos definirão polígonos convexos em torno dos postos udométricos. Cada polígono assim formado delimita uma área, no interior da qual qualquer ponto está mais próximo desse posto do que de qualquer outro. Presume-se que a precipitação registada no posto situado nessa área seja a que melhor a representa, o que nem sempre se verifica. O cálculo da precipitação média (\bar{P}) é feito através da expressão:

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i S_i}{S}$$

em que:

P_i é o valor da precipitação no posto i , em mm

S_i é a área de influência do posto i , em Km²

S é a área total, em Km².

Como alternativa à equação anterior poderemos escrever:

$$\bar{P} = \sum P_i S_i'$$

Onde S_i' é o coeficiente de Thiessen ($= S_i/S$), adimensional.

A área atribuída a cada polígono representa a percentagem em relação à área total. O cálculo do coeficiente de Thiessen dá imediatamente o “peso” de cada posto. Uma uniforme distribuição dos postos udométricos numa região, irá originar polígonos de Thiessen com áreas praticamente iguais, pelo que a precipitação média calculada por este método será igual ao valor obtido através da simples média aritmética. Daí, a importância da sua utilização em zonas com postos desigualmente espaçados, mas com características pluviométricas muito homogêneas e com relevos pouco importantes.

Calculando a média aritmética a partir dos valores médios de precipitação dos diferentes postos udométricos obtêm-se o valor de 146.0 mm. Considerando que a mediana é uma medida de tendência central mais robusta que a média, a precipitação média na ilha do Maio determinada a partir dos valores medianos de cada estação é de 124.0 mm.

Na Figura 3.4 apresenta-se o mapa de polígono de Thiessen da ilha do Maio e no Quadro 3.6 sintetizam-se os dados e os cálculos da precipitação média anual ponderada, com base nos valores medianos de precipitação de cada uma das estações.

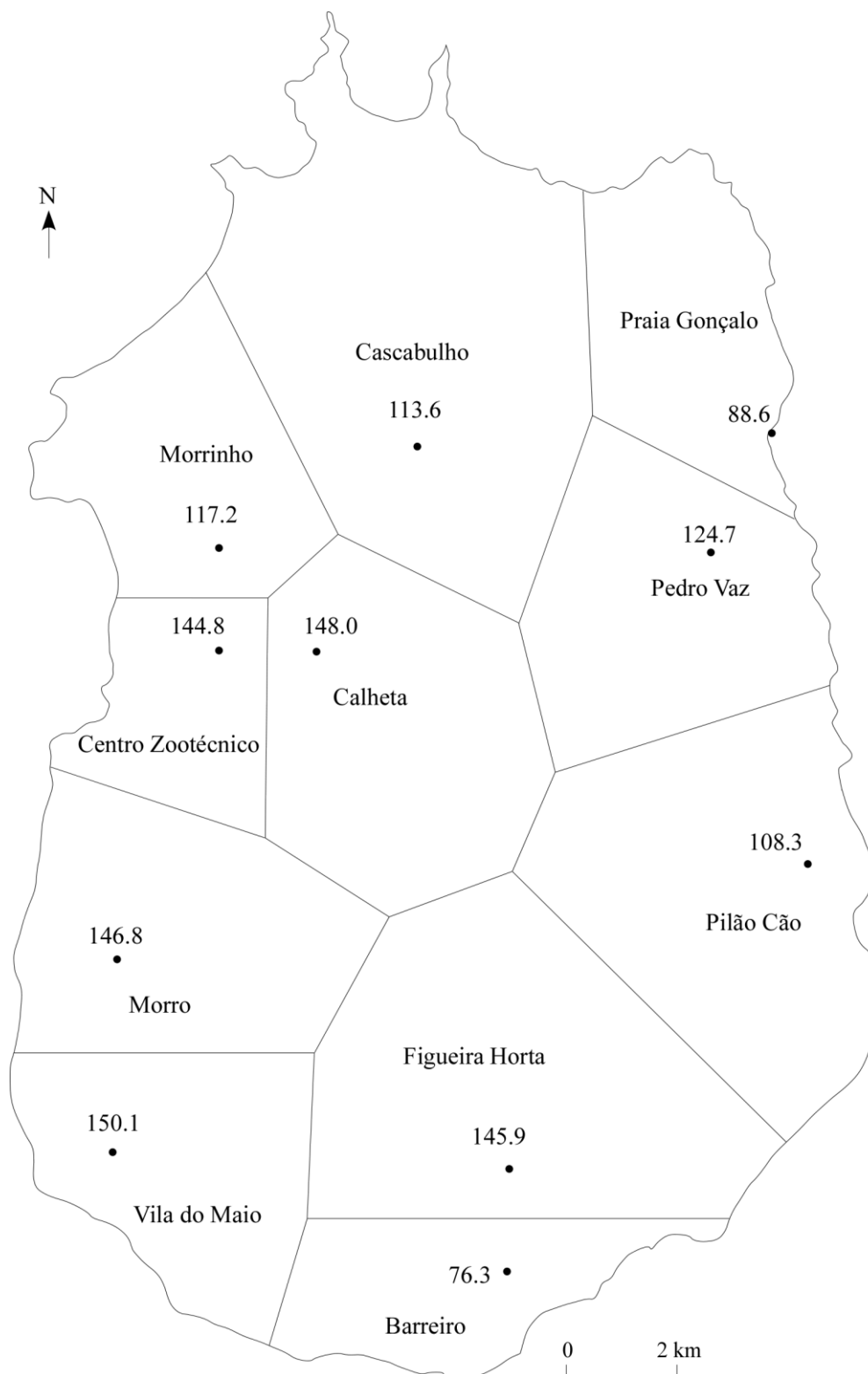


Figura 3.4. Mapa de polígonos de Thiessen da ilha do Maio.

Como se verifica, os valores da precipitação média da ilha do Maio obtidos por simples média aritmética e pelo método de Thiessen são aproximados (125.4 mm). No entanto, este valor não representa a verdadeira precipitação média sobre a ilha já que não existem postos udométricos nas áreas mais montanhosas, nomeadamente no Monte Penoso. Repare-se que a estação localizada a maior altitude (Pedro Vaz) se situa a cota de 39 m. Desta forma, considera-se que a avaliação pluviométrica efectuada constitui uma estimativa por defeito.

Quadro 3.6. Precipitação média anual da ilha do Maio calculada pelo método de Thiessen.

ESTAÇÃO	P_i (mm)	S_i (km ²)	$S'_i = S_i/S$	$P_i \times S'_i$ (mm)
Morro	146.8	24.350	0.091	13.288
Centro Zootécnico	144.8	11.643	0.043	6.267
Morrinho	117.2	18.744	0.070	8.167
Cascabulho	113.6	45.027	0.167	19.015
Praia Gonçalo	88.6	16.867	0.063	5.555
Pedro Vaz	124.7	23.299	0.087	10.801
Pilão Cão	108.3	32.362	0.120	13.029
Figueira Horta	145.9	36.285	0.135	19.680
Barreiro	76.3	14.404	0.054	4.086
Vila do Maio	150.1	19.705	0.073	10.995
Calheta	148.0	26.309	0.098	14.475
TOTAL		269	1.000	125.4

3.1.4. Variabilidade interanual

Numa leitura atenta do Quadro 3.5 verifica-se que a precipitação anual nas diferentes estações ao longo do período considerado (1978-2009) apresenta uma variabilidade significativa, ocorrendo anos com precipitação muito baixa, contrastando com outros em que a precipitação é mais elevada. Considerando um ano seco aquele que regista uma precipitação inferior a 75% do valor médio e um ano muito seco aquele em que a precipitação não excede os 60% do valor médio, verifica-se que, no período referido, ocorrem várias situações destes tipos. Na Figura 3.5 é possível visualizar, para cada estação, os anos secos e muito secos que ocorreram entre 1978 e 2009. Os diagramas mostram-nos as precipitações totais em cada ano, a média da série e os valores que correspondem a 75% e 60% daquele parâmetro. Salienta-se mais uma vez que as séries pluviométricas utilizadas apresentam lacunas nos anos de 1980, 2006, 2007 e 2008.

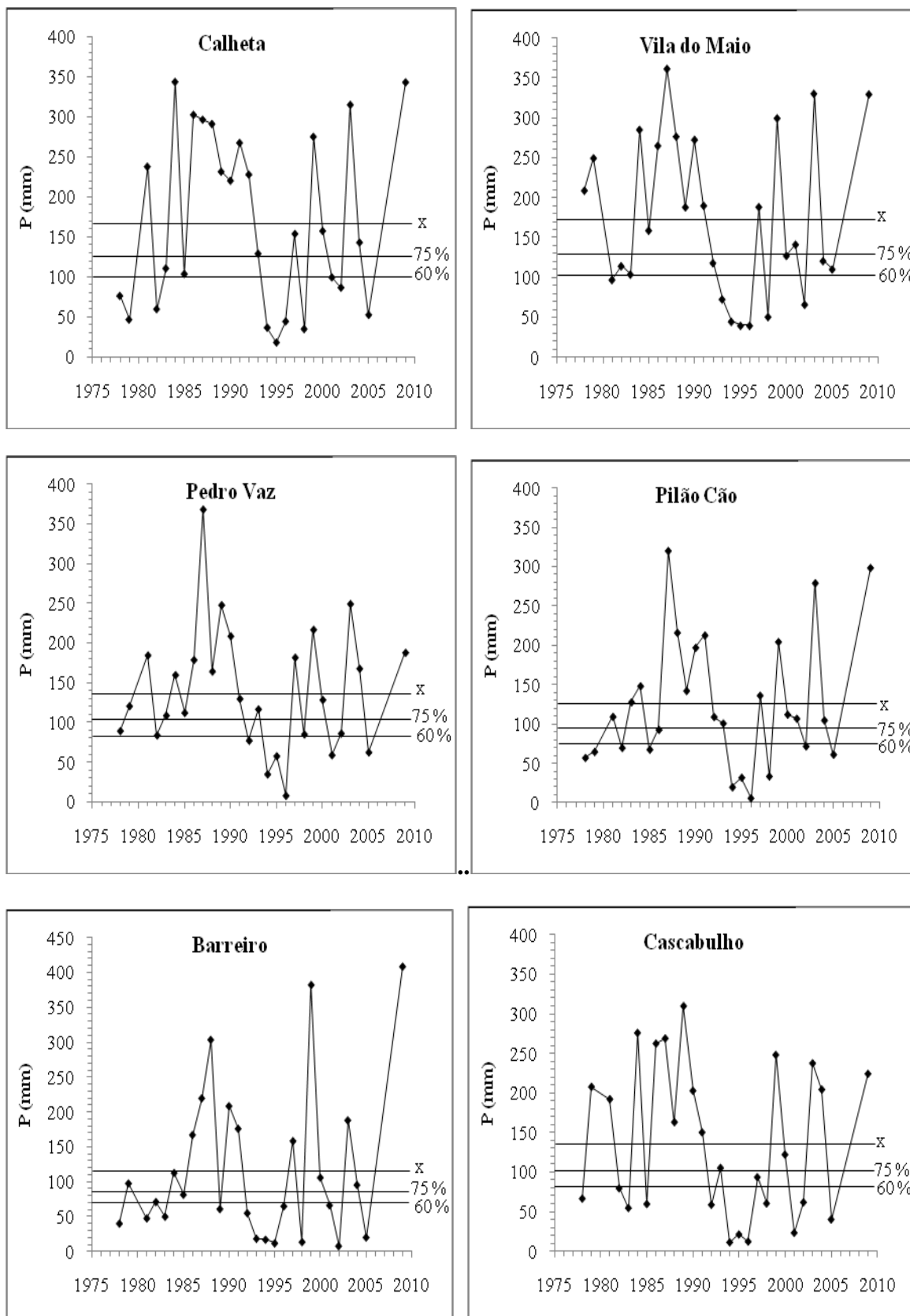


Figura 3.5. Precipitações anuais nas 11 estações estudadas com indicação da média e dos valores a 75% e 60% em relação à média.

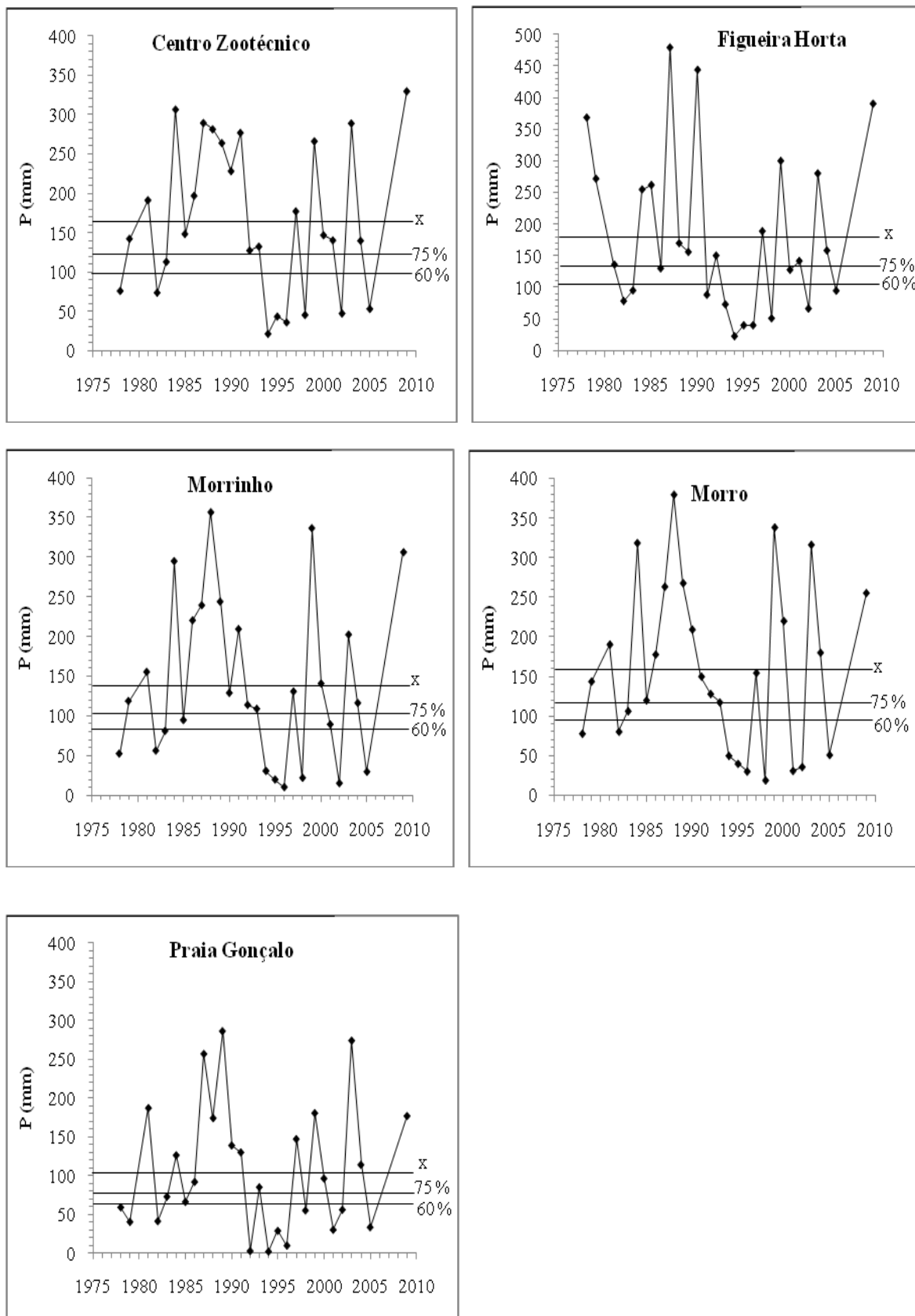


Figura 3.5. (cont.).

Analisando a Figura 3.5, identificam-se os anos secos e muito secos constantes do Quadro 3.7. Estes anos não são sempre os mesmos nas diferentes estações. Além disso, o número de ocorrências ao longo do período considerado é também distinto nas várias estações. A estação de Barreiro é a que apresenta maior número de anos muito secos, seguindo-se a estação de Cascabulho; pelo contrário, a estação de Pedro Vaz contém um menor número de anos muito secos, seguindo-se a estação da Vila do Maio.

Quadro 3.7. Anos secos e muito secos nas diferentes estações da ilha do Maio no período de 1978 a 2009.

Estações	Anos secos	Anos muito secos
Calheta	1983, 1985	1978, 1979, 1982, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2005.
Vila do Maio	1982, 1983, 1992, 2000, 2004, 2005	1981, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2002.
Pedro Vaz	1979, 1982, 1998, 2002	1992, 1994, 1995, 1996, 2001, 2005
Pilão Cão	1986	1978, 1979, 1982, 1985, 1994, 1995, 1996, 1998, 2002, 2005
Barreiro	1982, 1985	1978, 1981, 1983, 1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2005
Cascabulho	1997	1978, 1982, 1983, 1985, 1992, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2005
Centro Zootécnico	1983	1978, 1982, 1994, 1995, 1996, 1998, 2002, 2005
Figueira Horta	1986, 2000	1982, 1983, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2002, 2005
Morrinho	1985, 2001	1978, 1982, 1983, 1994, 1995, 1996, 1998, 2002, 2005
Morro	1983, 1993	1978, 1982, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2005
Praia Gonçalo	1983, 1985	1978, 1979, 1982, 1992, 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2002, 2005

De modo a avaliar a incidência de anos secos e muito secos no contexto global da ilha do Maio, elaborou-se o diagrama da Figura 3.6 onde se representa, para cada ano do período em análise, o número de estações que registaram anos secos ou muito secos. De acordo com este diagrama verifica-se que os anos de 1994, 1995 e 1996 são anos de extrema secura em todas as estações consideradas. Seguem-se os anos de 1998, 2002 e 2005, que são considerados anos muito secos em dez das onze estações e secos numa estação. Os anos de 1982 e 1983 são considerados secos ou muito secos em nove estações. Um outro aspecto evidenciado no diagrama da Figura 3.6 tem a ver com o número de anos secos ou muito secos que ocorrem no período de 1978 a 2009. De facto, num total de 28 anos ocorrem 21 anos secos ou muito secos em pelo menos uma estação, ou seja, 75% dos anos incluídos no período em análise são anos secos ou muito secos.

Do exposto pode-se considerar que, de uma forma geral, a ilha do Maio é uma ilha muito seca.

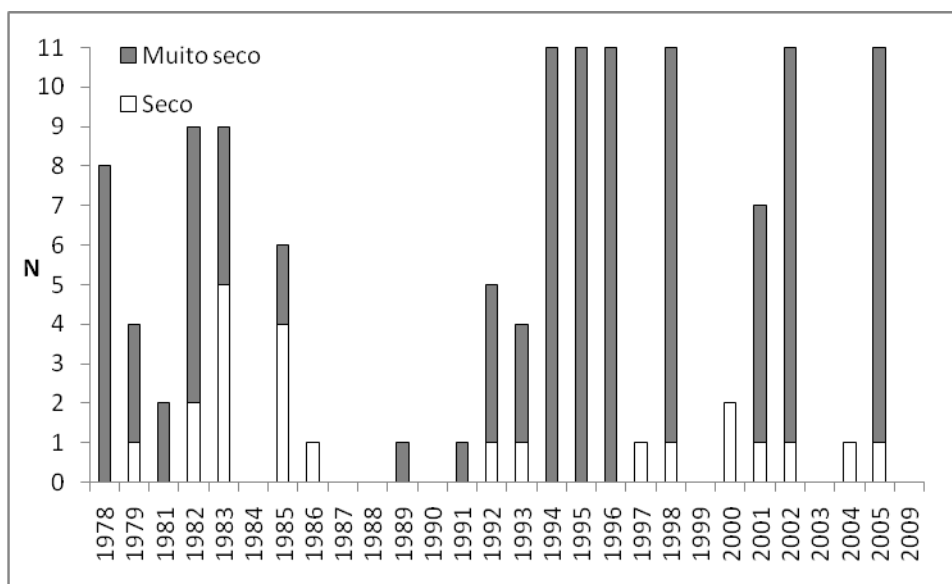


Figura 3.6. Anos secos e muito secos nas diferentes estações da ilha do Maio no período de 1978 a 2009 (N - número das estações).

3.1.5. Distribuição intra-anual da precipitação

A distribuição mensal da precipitação nas diferentes estações da rede pluviométrica da ilha do Maio está representada na Figura 3.7. Esta Figura mostra que o mês de Setembro é o de maior precipitação. Isto verifica-se para todas as estações com excepção de Praia Gonçalo por apresentar maior precipitação em Agosto. De uma forma geral, a precipitação está concentrada nos meses de Agosto, Setembro e Outubro; pelo contrário, no período de Dezembro a Junho, a precipitação é praticamente nula. Os meses de Julho e Novembro registam alguma precipitação, podendo ser considerados meses de transição.

3.1.6. Distribuição espacial da precipitação

Na Figura 3.8 apresenta-se o mapa de isoietas da ilha do Maio. Dada a distribuição das estações pluviométricas optou-se por não efectuar extrapolações no sector norte. Como se observa na Figura 3.8, a precipitação máxima anual ocorre na zona do Monte Batalha, diminuindo em todos os sentidos, a medida que se caminha para o litoral. Chama-se, no entanto, a atenção para a inexistência de estações pluviométricas na área correspondente ao maciço central da ilha, nomeadamente no Monte Penoso, cujo ponto culminante possui a maior altitude da ilha. Pensa-se, por isso, que nestas áreas de cotas mais elevadas a precipitação média anual seja superior a 150 mm. Em síntese, poderá dizer-se que a área

mais pluviosa da ilha é a correspondente ao maciço central, verificando-se uma diminuição acentuada para a periferia.

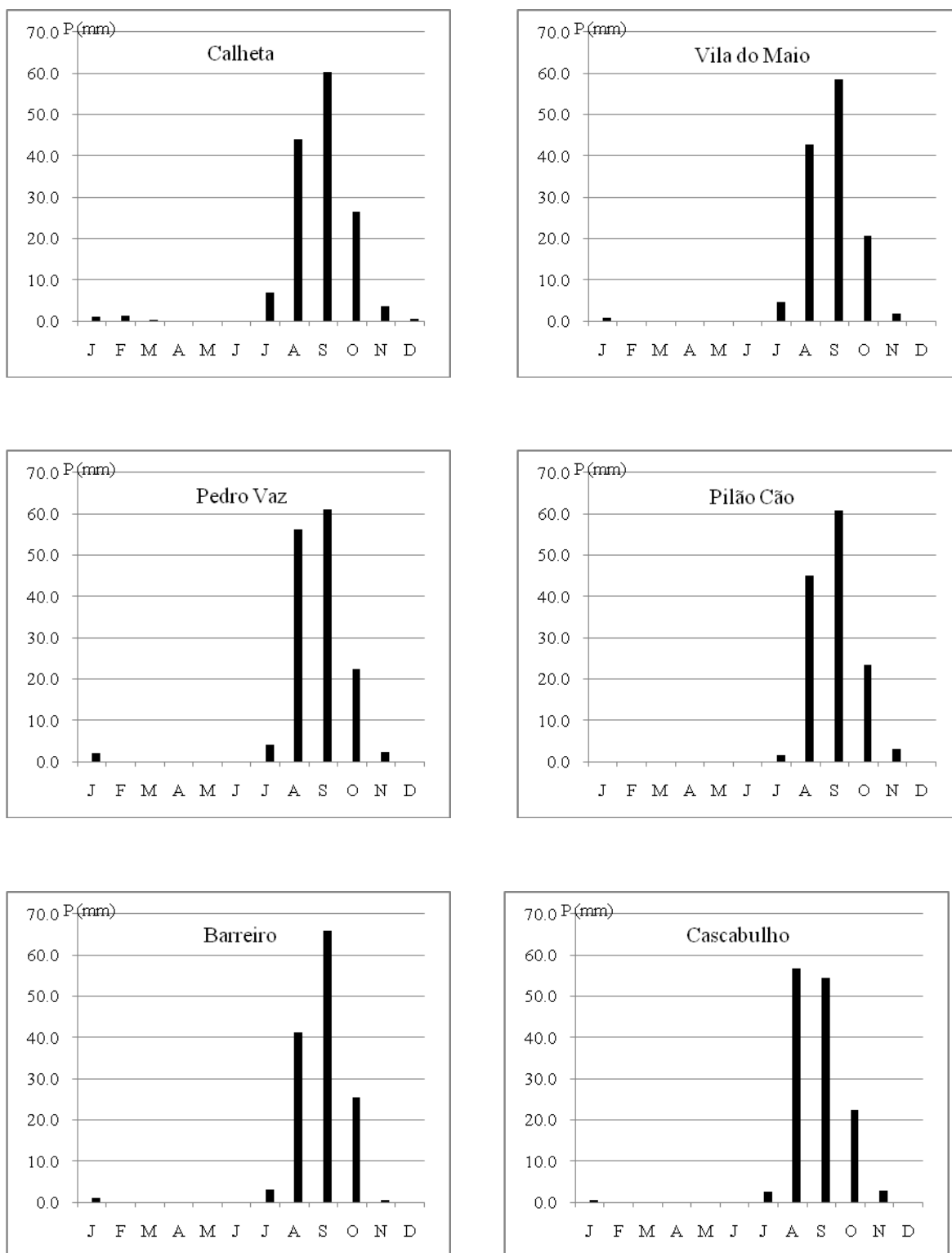


Figura 3.7. Distribuição da precipitação média mensal nas estações de Calheta, Vila do Maio, Pedro Vaz, Pilão Cão, Barreiro, Cascabulho, Centro Zootécnico, Figueira Horta, Morrinho, Morro e Praia Gonçalves. Os meses encontram-se apresentados pelas respectivas letras iniciais.

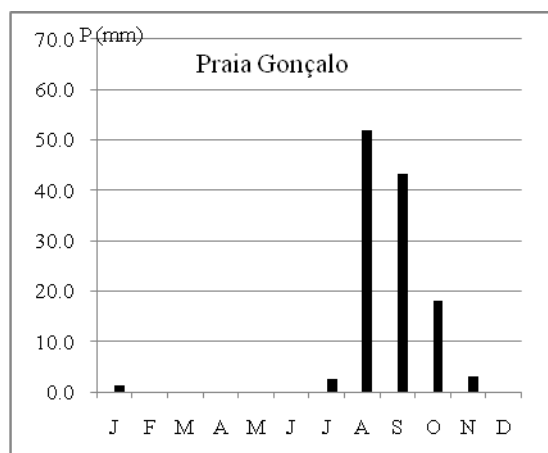
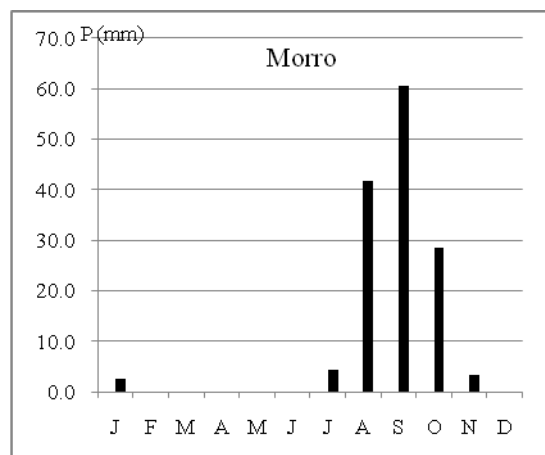
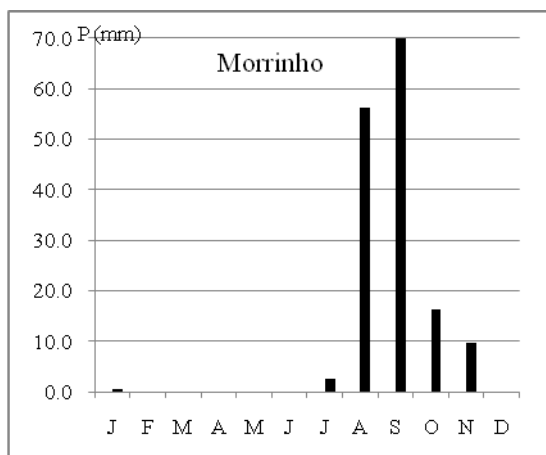
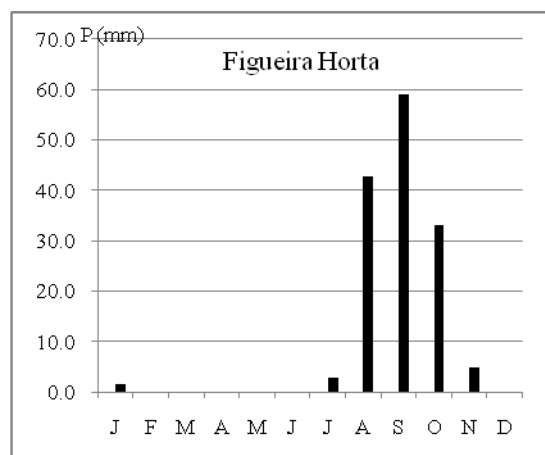
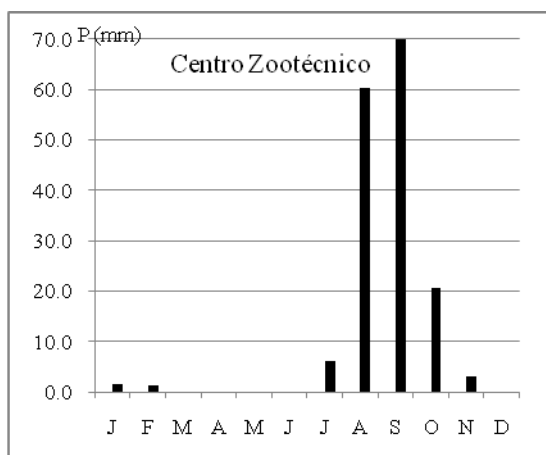


Figura 3.7. (cont.).

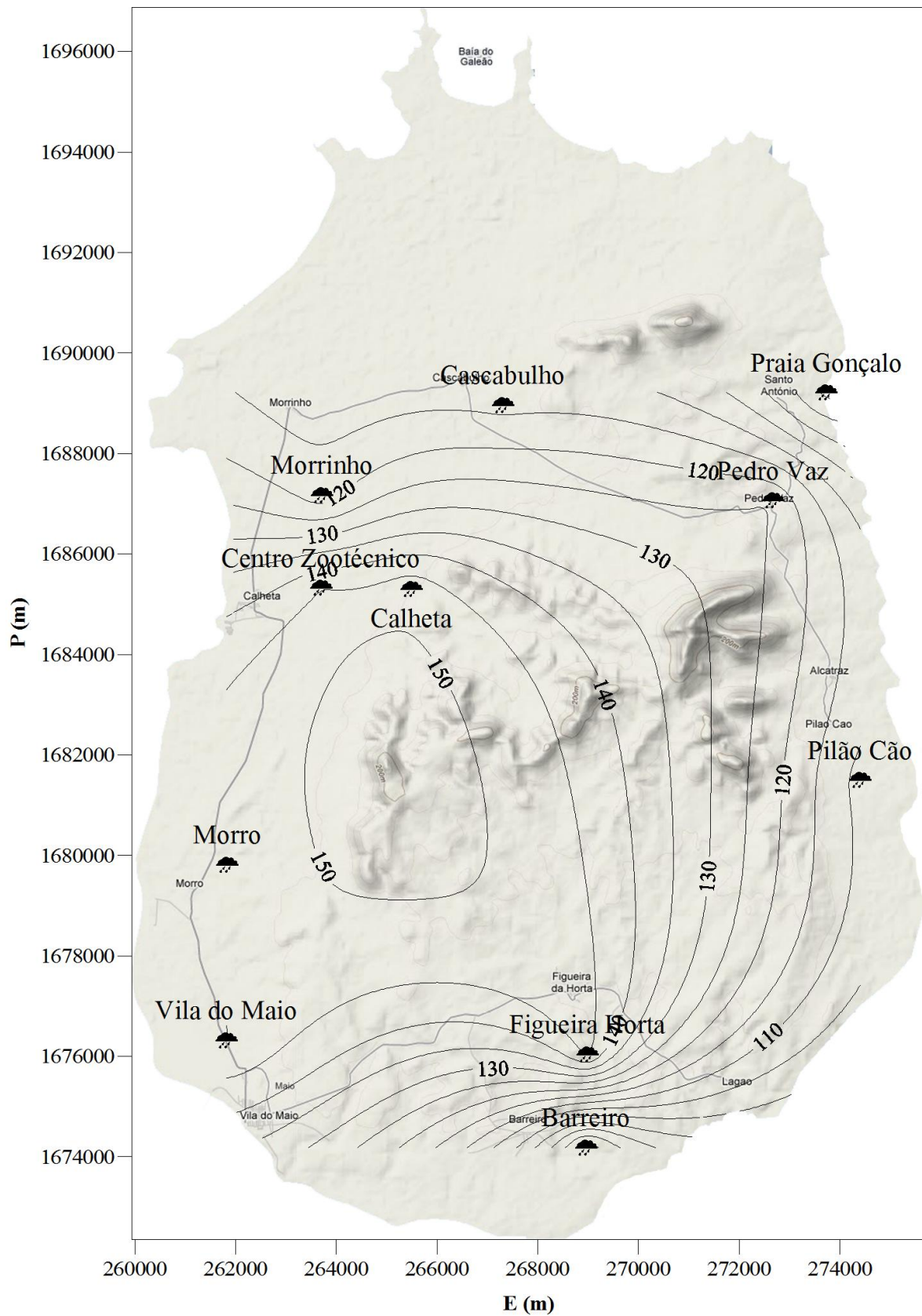


Figura 3.8. Mapa de isoietas da ilha do Maio.

3.2. Temperatura

O ciclo da temperatura anual é uma consequência do movimento de translação da terra em volta do sol, em que as variações anuais das temperaturas são geradas pela inclinação do eixo terrestre, originando deste modo as estações climáticas. Para além deste fenómeno, a temperatura atmosférica é também função da latitude e da altitude. Este último efeito é mais pronunciado no hemisfério norte, devido a uma maior concentração de massas continentais (Lima, 1994).

Como se referiu oportunamente, das onze estações que constituem a rede climatológica da ilha do Maio apenas a estação da Calheta Monte Vermelho possui dados relativos a temperatura do ar. A série de dados disponível no Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica é relativa ao período de 1986 a 1998. Estes dados compreendem registos de temperaturas mínimas e máximas a partir dos quais se efectuou o cálculo das temperaturas médias. No Quadro 3.8 apresenta-se uma síntese estatística dos valores mínimos da temperatura na série anteriormente referida. Em termos médios a temperatura mínima corresponde ao mês de Março e a máxima ocorre em Setembro. Verifica-se também que, em cada mês, a temperatura mínima é bastante homogénea já que a diferença entre os valores mínimos e máximos registados é pouco significativo. Da mesma forma também os valores médios e medianos são muito semelhantes o que mostram que os dados se distribuem de forma normal.

Quadro 3.8. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas mínimas da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998.

Mês	Média	Mínima	Máxima	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Var
Jan	17.5	16.1	18.7	17.8	0.849	0.049
Fev	17.2	16.0	18.6	16.9	0.789	0.046
Mar	17.1	15.7	18.7	17.0	1.038	0.061
Abr	17.8	16.0	20.6	18.1	1.214	0.068
Mai	18.7	17.1	20.8	18.7	1.086	0.058
Jun	20.0	17.5	21.8	20.0	1.299	0.065
Jul	21.9	20.0	25.4	21.7	1.392	0.064
Ago	23.0	22.0	24.9	22.9	0.879	0.038
Set	23.4	21.8	24.8	23.5	0.901	0.038
Out	22.2	20.3	24.1	22.0	1.082	0.049
Nov	20.5	18.6	22.3	20.5	1.339	0.065
Dez	19.1	18.0	20.7	18.9	0.840	0.044

O tratamento relativo aos valores das temperaturas máximas é semelhante ao efectuado em relação às temperaturas mínimas. Assim, como se observa no Quadro 3.9, em

média a temperatura mínima diz respeito ao mês de Janeiro e a máxima é registada em Setembro, apresentando características semelhantes às do Quadro 3.8.

Quadro 3.9. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas máximas da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998.

Mês	Média	Mínima	Máxima	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Var
Jan	26.1	25.0	28.0	25.7	0.965	0.037
Fev	26.7	25.5	29.4	26.2	1.347	0.051
Mar	26.7	24.7	28.8	26.8	1.416	0.053
Abr	27.1	25.3	28.2	26.9	0.972	0.036
Mai	27.7	26.1	29.0	27.6	0.846	0.031
Jun	28.4	27.2	29.8	28.1	0.954	0.034
Jul	29.3	27.9	30.2	29.0	0.699	0.024
Ago	30.5	29.6	31.3	30.5	0.526	0.017
Set	31.0	30.5	32.0	30.9	0.416	0.013
Out	30.8	29.6	32.2	30.6	0.929	0.030
Nov	29.5	28.1	31.3	29.8	0.896	0.030
Dez	27.2	26.1	28.4	27.3	0.807	0.030

Com os valores mínimos e máximos foi determinada a temperatura média mensal do período de 1986 a 1998. O tratamento estatístico destes dados está apresentado no Quadro 3.10. Em termos médios, a temperatura mínima corresponde aos meses de Fevereiro e Março (22.4 °C) e a máxima ocorre em Setembro (27.4 °C). Como se observa, a diferença entre as temperaturas médias dos meses mais frios e do mês mais quente é de apenas 5 °C.

Quadro 3.10. Parâmetros estatísticos relativos à série de temperaturas média da estação de Calheta Monte Vermelho no período de Janeiro de 1986 a Dezembro de 1998.

Mês	Média	Mínima	Máxima	Mediana	Desv. Padrão	Coef. Var
Jan	22.6	21.3	23.7	22.8	0.849	0.038
Fev	22.4	21.2	24.2	22.5	1.058	0.047
Mar	22.4	21.1	24.3	22.5	1.046	0.047
Abr	23.0	22.1	24.1	23.0	0.746	0.032
Mai	23.7	22.4	24.9	23.8	0.677	0.029
Jun	24.6	23.8	25.6	24.4	0.626	0.025
Jul	25.8	24.7	26.8	25.6	0.646	0.025
Ago	26.4	21.7	27.7	26.8	1.624	0.062
Set	27.4	27.0	28.0	27.3	0.342	0.012
Out	26.4	22.6	27.8	26.5	1.433	0.054
Nov	25.4	25.0	26.1	25.5	0.411	0.016
Dez	23.6	22.8	24.7	23.9	0.680	0.029

3.3. Termopluviometria

A ilha do Maio enquadra-se num clima do tipo árido e semiárido, atingindo uma temperatura máxima no mês de Setembro, coincidindo com o mês de maior precipitação.

O diagrama termopluviométrico da Figura 3.9, elaborado com os valores médios de precipitação e temperatura relativos à estação da Calheta Monte Vermelho, mostram que a evolução intra-anual da temperatura e da precipitação seguem um paralelismo, atingindo os valores mais elevados no mês de Setembro.

Considerando o período seco como aquele em que o dobro da temperatura é superior ao valor da precipitação, verifica-se que o mesmo abrange praticamente todo o ano, à excepção do mês de Setembro (Figura 3.9).

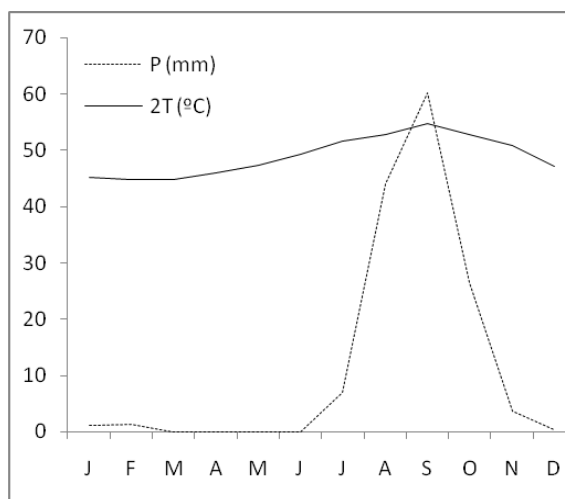


Figura 3.9. Diagrama termopluviométrico da estação de Calheta Monte Vermelho.

3.4. Evapotranspiração

A evaporação é uma das fases do ciclo hidrológico mais difícil de quantificar. Além disso, a evaporação é apenas uma parte do mecanismo de transferência de massas de água para a atmosfera. Essa transferência não é feita apenas por evaporação a partir da superfície do solo e da água, mas também por intervenção de organismos, em particular através da transpiração das plantas. Em condições de campo, não é possível separar totalmente a evaporação da transpiração. Por isso, as perdas para a atmosfera estão normalmente englobadas num fenómeno designado de evapotranspiração, que compreende a evaporação

e a transpiração. Naturalmente que a aplicação correcta deste conceito a uma determinada área prevê a existência de vegetação.

3.4.1. Evapotranspiração potencial

Tendo em conta que a evapotranspiração depende de vários factores muito variáveis e difíceis de medir, como é o caso do teor de humidade do solo e o desenvolvimento vegetal, Thornthwaite (1948), *in* Lima (1994) introduziu o conceito de evapotranspiração potencial (ETP), otimizando aqueles dois factores. Assim, o valor da evapotranspiração potencial corresponde ao limite máximo de água que pode passar do estado líquido para o estado gasoso em condições de desenvolvimento da vegetação excelente e humidade do solo em completa capacidade de campo.

Existem muitos métodos para determinar a evapotranspiração potencial, cuja sistematização pode ser encontrada, por exemplo, em Custódio e Lamas (1983). Neste trabalho apresenta-se o método de Thornthwaite por ser um dos métodos mais simples e mais utilizados na estimativa de evapotranspiração potencial.

A estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite é efectuada mediante a aplicação da equação:

$$ETP = 1.62 \left[\frac{10T_m}{I} \right]^\alpha$$

Em que,

ETP - evapotranspiração potencial mensal em cm;

T_m – temperatura média mensal em °C (para meses de 30 dias com 12 horas diárias de sol);

α – é um factor relacionado com o índice de calor anual (I) através da expressão

$$\alpha = 67.5 \times 10^{-8} I^3 - 77.1 \times 10^{-6} I^2 + 197.2 \times 10^{-4} I + 0.49239$$

onde,

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{T_m}{5} \right]^{1.51}$$

A correcção da duração real do mês e da insolação é feita segundo um factor obtido pela expressão (Custódio e Llamas, 1983):

$$K = \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

Em que,

K – Factor de correcção;

N – Número máximo de horas de sol, segundo a latitude;

d – número do dia do mês.

Os valores dos factores de correcção para diferentes latitudes bem como o número máximos de horas de sol tendo em conta a latitude aparecem normalmente tabelados em qualquer livro de hidrologia. A evapotranspiração potencial corrigida (em cm) é dada pela seguinte fórmula:

$$ETP_{\text{corrigida}} = K \times ETP$$

A aplicação do método de Thonthwaite à área de influência da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho conduziu aos valores de evapotranspiração potencial apresentados na Quadro 3.11.

Quadro 3.11. Valores da evapotranspiração potencial da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho determinados pelo método de Thonthwaite.

Mês	ETP (mm)
Jan	93.5
Fev	83.7
Mar	96.4
Abr	105.0
Mai	123.5
Jun	137.0
Jul	164.7
Ago	173.5
Set	184.4
Out	162.7
Nov	133.9
Dez	106.5

3.4.2. Evapotranspiração real

Determinada a evapotranspiração potencial, pode ser estimada a evapotranspiração real através de balanço hídrico sequencial, conhecendo os valores da precipitação e capacidade de campo. Considerando nula a reserva útil de água no solo no início do ano hidrológico, a evapotranspiração real em cada mês pode obter-se pela equação:

$$P = ETR + EI + \Delta S$$

A aplicação desta equação pressupõe a condição imposta pela expressão:

$$ETR \leq ETP$$

sendo,

P - precipitação em mm;

ETR – evapotranspiração em mm;

EI – excedentes de água (escorrência + infiltração) em mm;

ΔS – variação da reserva de água no solo em mm;

ETP – evapotranspiração potencial em mm.

A evapotranspiração real (ETR) equivale ao valor da evapotranspiração potencial condicionada à humidade disponível, devendo também considerar-se na avaliação deste parâmetro os mecanismos fisiológicos de defesa das plantas quando sujeitas a "stress" hídrico (Lima, 1994).

Além da equação do Balanço hídrico a evapotranspiração real pode ser estimada através de fórmulas empíricas como as de Turc e de Coutagne.

A fórmula de Turc baseia-se em estudos efectuados em mais de duzentos locais em diferentes partes do mundo. A evapotranspiração real é calculada pela fórmula (Custódio, 1983):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

onde,

ETR - evapotranspiração real anual em mm;

P - precipitação anual em mm;

L - factor relacionado com a temperatura média anual (*T*), em °C, pela expressão seguinte:

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

O cálculo da evapotranspiração real pelo método de Coutagne é feito a partir da seguinte fórmula:

$$ETR = P - \chi P^2$$

sendo,

ETR - evapotranspiração real anual em mm;

P - precipitação anual em mm;

χ - factor relacionado com a temperatura média anual pela expressão:

$$\chi = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

em que,

T – temperatura média anual em °C.

A fórmula de Coutagne é válida apenas para valores de precipitação compreendidos entre $\frac{1}{8\chi}$ e $\frac{1}{2\chi}$.

Os métodos de Turc e Coutagne, devido a sua natureza empírica, conduzem a resultados cuja validade deve ser tomada com muitas reservas. Na verdade, os diferentes métodos dão valores diferentes uns dos outros e de medições directas pelo que Custódio e Llamas (1983) referem a necessidade de efectuar medições nas áreas em estudo, para que se possa comparar estes resultados aos obtidos pelos métodos empíricos. A fórmula de Turc conduz, em geral, a estimativas da evapotranspiração real por excesso (Custódio e Llamas, 1983). Não obstante, os métodos empíricos são considerados muito vantajosos devido a sua grande economia, tendo em conta que se baseiam em dados climatológicos de fácil obtenção. Para o cálculo da evapotranspiração potencial.

A Figura 3.10 mostra a distribuição dos valores de precipitação e de evapotranspiração potencial na área de influência da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho em ano médio. Como se observa, a evapotranspiração potencial é sistematicamente superior à precipitação, o que limita a evapotranspiração real à própria precipitação. Desta forma, a evapotranspiração real em ano médio é de 144.1 mm.

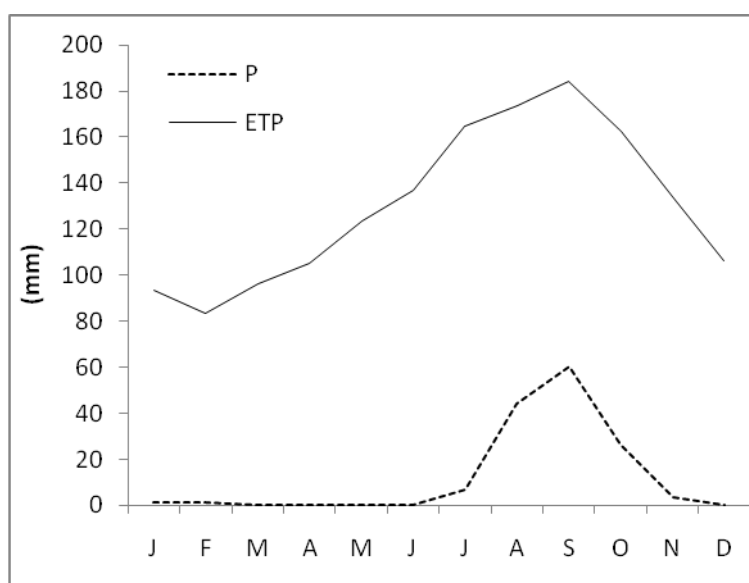


Figura 3.10. Distribuição dos valores de evapotranspiração potencial e da precipitação na área de influência da estação de Calheta Monte Vermelho.

No Quadro 3.12 apresentam-se os resultados de evapotranspiração real obtidos por balanço hídrico e pela aplicação da fórmula empírica de Turc, utilizando os valores médios de precipitação da série 1966 – 2009 e da temperatura da série 1986 – 1998. O método de

Coutagne não foi utilizado, já que os valores de precipitação não se situam no intervalo da sua validade.

Quadro 3.12. Resultados do cálculo de evapotranspiração real na área de influência da estação climatológica de Calheta Monte Vermelho.

Métodos	ETR (mm)
Balanço Hídrico	144.1
Turc	151.2

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que há uma aproximação dos valores em ambos os métodos, o que sugere que o método de Turc constitui uma boa aproximação na estimativa da evapotranspiração real.

3.5. Balanço hídrico e estimativa de recursos

Os modelos do balanço hídrico ao nível do solo foram desenvolvidos para regiões húmidas e, como tal têm menor validade em ambientes áridos e semiárido. Além disso, são mais eficazes em situações onde os solos não secam completamente e os valores de evapotranspiração potencial e real são semelhantes e, ainda em situações em que a precipitação tem uma distribuição relativamente uniforme ao longo do período em análise (Lerner *et al*, 1990). Do exposto, verifica-se que as condições climáticas da ilha do Maio não são favoráveis à aplicação desta metodologia, já que possui um clima árido a semiárido, com os solos praticamente secos na maior parte do ano, com uma diferença substancial entre os valores de evapotranspiração potencial e evapotranspiração real e com a precipitação concentrada em poucos dias de uma estação húmida de curta duração. De facto, como se viu no capítulo anterior, a evapotranspiração real é igual à precipitação, sendo muito inferior à evapotranspiração potencial. Além disso, verificou-se também que a aplicação do balanço hídrico sequencial com periodicidade mensal não gera excedentes hídricos, uma vez que, como se disse, toda a precipitação é convertida em evapotranspiração. Estes resultados não correspondem à realidade, uma vez que são conhecidas captações de água subterrânea doce, cuja proveniência terá de estar

obrigatoriamente relacionada, directa ou indirectamente, com a precipitação. Desta forma, conclui-se que a periodicidade escolhida (mensal) não é adequada à realização de um balanço hídrico ao nível do solo, sendo necessário adoptar intervalos de tempo mais curtos. Atendendo a que os registos de precipitação são feitos diariamente, não é possível seleccionar um intervalo de tempo inferior ao dia. Por isso, iremos de seguida aplicar um modelo de balanço diário baseado na fórmula empírica do *Soil Conservation Service* utilizada no estudo das cheias.

A estimativa da recarga directa por balanço sequencial diário baseia-se na distribuição da precipitação diária de acordo com: evapotranspiração, escoamento à superfície e infiltração profunda. Para isso, é preciso levar em consideração determinados aspectos, como o teor de humidade do solo e a sua capacidade máxima de armazenamento de água. Além disso, para o cálculo do escoamento superficial, define-se antecipadamente o valor de precipitação a partir do qual se inicia este escoamento (Lima, 2001).

O cálculo da escorrência superficial é efectuado exclusivamente para valores de precipitação diária superior ao das perdas iniciais da chuva (Lencastre e Franco, 1992). A metodologia utilizada baseia-se na fórmula empírica do *Soil Conservation Service*, considerando uma perda inicial de precipitação de cerca de 20% da capacidade de retenção do solo. As perdas iniciais (P_0), que dependem do tipo de solo, podem ser calculadas pela expressão (Wanielista, 1990):

$$P_0 = \frac{5080}{N} - 50.8$$

sendo N o número de escoamento, dependente do tipo hidrológico de solo, da sua utilização e das condições de superfície. Se a precipitação diária for igual ou inferior ao valor das perdas iniciais (P_0), não haverá escoamento superficial; caso contrário, será determinado pela fórmula (Wanielista, 1990):

$$Q_p = \frac{25.4 \left(\frac{P}{25.4} - \frac{200}{N} + 2 \right)^2}{\frac{P}{25.4} + \frac{800}{N} - 8}$$

em que:

Qp – escoamento superficial directo, em mm;

P – precipitação diária, em mm;

N – número de escoamento ou de curva (adimensional).

Após a determinação do escoamento superficial, a infiltração profunda (recarga aquífera) pode estimar-se pela seguinte equação de balanço:

$$Rp = P - ETR - Qp \pm \Delta As$$

em que:

Rp – infiltração profunda, em mm;

P – precipitação diária, em mm;

ETR – evapotranspiração real em mm;

Qp – escoamento superficial, em mm;

ΔAs – variação do armazenamento de água no solo, em mm.

A aplicação desta metodologia exige o conhecimento dos valores de precipitação diária e da selecção de um número de curvas (N) adequado às condições do solo. O número de curva ou de escoamento pode variar de 0 a 100, embora os extremos não sejam normalmente utilizados. Quanto mais impermeável for um solo, maior será o valor do número de escoamento a aplicar; inversamente, em solos muito permeáveis o valor do número de escoamento é baixo. Os números de escoamento para as diversas utilizações do solo foram definidos pelo *Soil Conservation Service* e podem ser consultados, por exemplo, em Wanielista (1990) e Lencastre e Franco (1992).

A aplicação do método do balanço sequencial diário à ilha do Maio foi efectuada de forma semiautomática, com recurso a uma folha de cálculo desenvolvida por Canas *et al* (2003). Os dados de precipitação diária disponíveis referem-se ao ano de 2009.

Na Figura 3.11 apresenta-se a distribuição da precipitação diária da estação Calheta Monte Vermelho ao longo do ano de 2009. Como se observa, a precipitação ocorre nos meses de Agosto, Setembro e Outubro, concentrando-se no mês de Setembro. Com base nestes dados, efectuou-se o balanço hídrico de acordo com a metodologia previamente descrita, considerando a reserva utilizável do solo de 50 mm e um número de escoamento de 62, tendo em conta as características e utilizações do solo. A aplicação deste modelo conduziu aos resultados expressos graficamente na Figura 3.12, que mostra a distribuição da precipitação diária, da escorrência superficial e da infiltração profunda durante a estação húmida. Dos 13 dias em que ocorre precipitação, verifica-se que há produção de excedentes hídricos apenas em três dias. Estes excedentes repartem-se pela escorrência superficial e pela infiltração profunda (recarga aquífera).

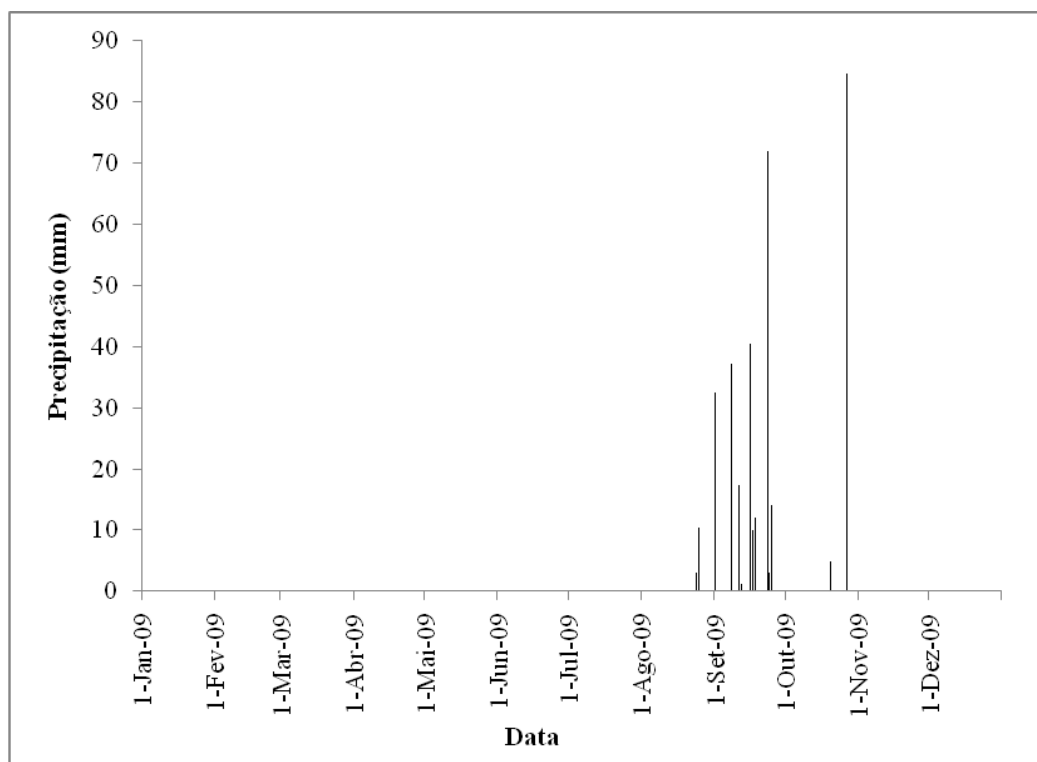


Figura 3.11. Distribuição da precipitação diária ao longo do ano de 2009 na estação climatológica da Calheta Monte Vermelho.

A precipitação total no período em análise é de 342.7 mm, dos quais 23.0 mm escorrem à superfície e 53.1 mm constituem a recarga aquífera. A fracção da precipitação remanescente (266.6 mm) é devolvida à atmosfera por evapotranspiração. Em termos relativos, o escoamento superficial corresponde a 7% da precipitação e a infiltração representa 16% da precipitação.

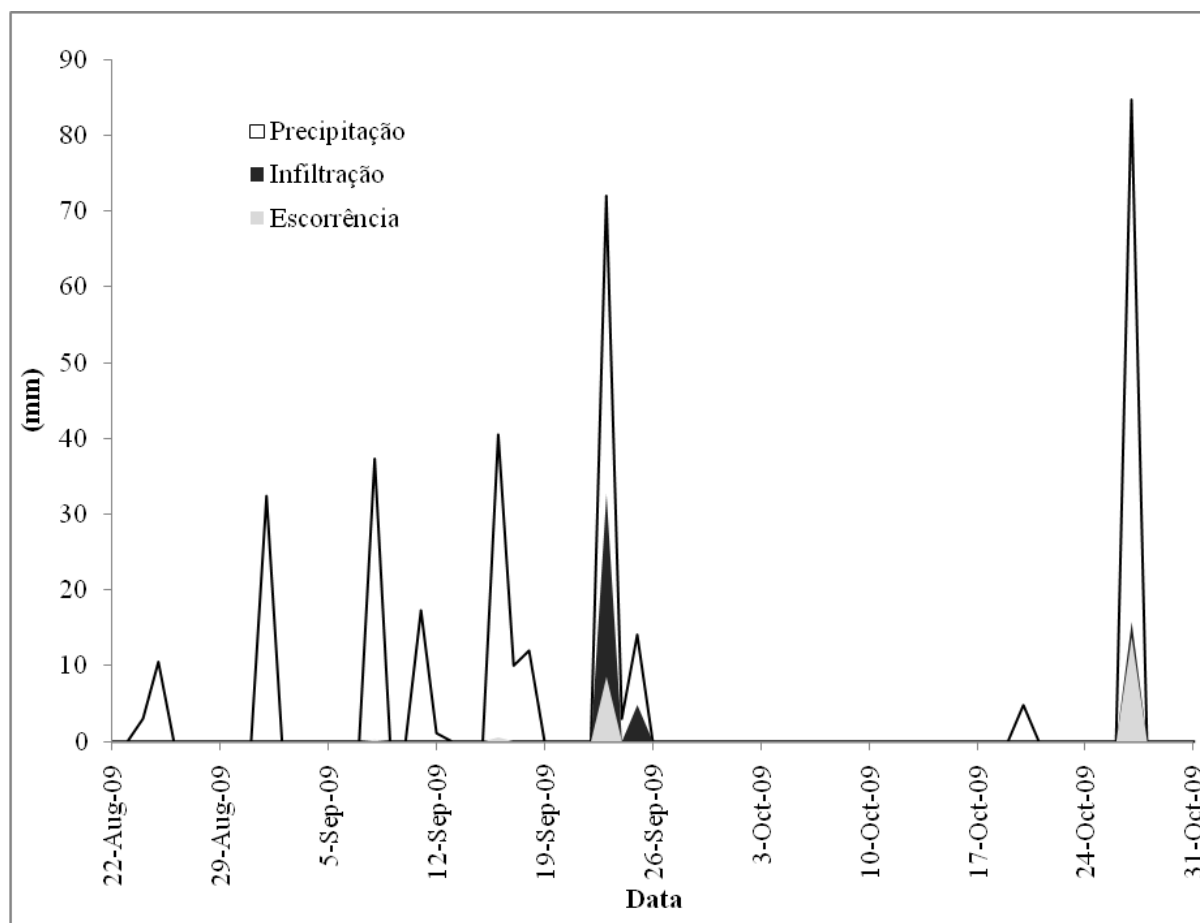


Figura 3.12. Distribuição da precipitação diária, infiltração e escoância ao longo do ano de 2009 na estação climatológica da Calheta Monte Vermelho.

Aplicando a mesma metodologia às restantes estações udométricas da ilha do Maio, obtêm-se os resultados expressos no Quadro 3.13. Em relação a precipitação, constata-se que a estação de Barreiro regista uma quantidade mais elevada (408.2 mm), enquanto a estação de Praia Gonçalo conta com o valor mais baixo (176.7 mm). No que respeita ao escoamento superficial, podemos verificar que a estação de Praia Gonçalo continua com o valor mais baixo do ano em estudo (1.4 mm), correspondendo a 1% da precipitação. Pelo contrário, a estação de Vila do Maio atinge os 40.7 mm, que representam 12% da precipitação. Relativamente à infiltração, pode-se observar que a estação de Figueira Horta apresenta o valor mais elevado (105.1 mm), correspondendo a 27% da precipitação. De acordo com os parâmetros do modelo antes referidos, a quantidade de precipitação registada na estação de Pedro Vaz e a sua distribuição temporal não proporcionam qualquer infiltração profunda.

Quadro 3.13. Distribuição da precipitação, escoamento superficial e infiltração ao longo do ano de 2009 em diversos locais da ilha do Maio.

Estação	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial		Infiltração	
		mm	% P	mm	% P
Calheta	342.7	23.0	7	53.1	16
Cascabulho	224.0	9.6	4	24.7	11
Barreiro	408.2	39.4	10	79.6	19
Figueira Horta	390.4	39.9	10	105.1	27
Centro Zootécnico	329.7	21.3	6	60.5	18
Pilão Cão	298.8	26.8	9	51.0	17
Praia Gonçalves	176.7	1.4	1	7.9	4
Pedro Vaz	188.1	3.0	2	0.0	0
Vila do Maio	329.0	40.7	12	35.5	11
Morro	255.3	22.9	9	47.1	18
MÉDIA	294.3	22.8	7	46.5	14.1

3.5.1. Escoamento total

Considerando os valores médios de precipitação relativos ao ano de 2009 (294.3 mm), verifica-se que os excedentes hídricos são da ordem de 69.3 mm, que representam 23,5% da precipitação. Admitindo que estes recursos se distribuem uniformemente por toda a ilha, para uma área de 269 Km², os recursos hídricos totais são estimados em 18,6 x 10⁶ m³ o que, distribuídos ao longo do ano, correspondem a cerca de 51 000 m³/dia. No entanto, a precipitação registada em 2009 está longe de representar a média pluviométrica na ilha, tendo sido um dos anos mais chuvosos das últimas décadas. Como tal, a estimativa de recursos antes referida não representa de forma alguma os recursos hídricos totais renováveis anualmente. Recalculando estes recursos com base na precipitação média da ilha (124.0 mm) e considerando que eles correspondem a 23.5% da precipitação, obtêm-se 29.1 mm, ou seja, 7.8 x 10⁶ m³ anuais, o que equivale a cerca de 21 400 m³/dia.

Importa salientar que as estimativas antes efectuadas tiveram como base dados de precipitação anual relativos à série 1978 - 2009. Como se viu oportunamente, as séries pluviométricas das diferentes estações apresentavam várias lacunas e alguns erros. Além disso, considera-se que os dados originais são pouco fiáveis, o que aumenta a incerteza das estimativas apresentadas, as quais, em consequência, devem ser encaradas com reservas.

De qualquer forma, se os recursos referidos fossem aproveitados na sua totalidade, em ano médio, haveria uma disponibilidade hídrica *per capita* de aproximadamente 3 200 L/dia.

3.5.2. Escoamento Superficial

De acordo com os resultados do modelo do balanço hídrico diário aplicado às diferentes estações climatológicas da ilha do Maio, o coeficiente de escoamento superficial médio é de 7% (Quadro 3.13). Assim, com base nos dados de 2009, o escoamento superficial estima-se em 20.6 mm, a que correspondem cerca de $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Utilizando o valor da precipitação média anual, obtêm-se um valor para o escoamento superficial de 8.7 mm, ou seja, aproximadamente $2.3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Se esta quantidade de água fosse armazenada em albufeiras, através da construção de barragens de retenção, haveria um potencial de água superficial disponível diariamente da ordem dos $6\,300 \text{ m}^3$. No entanto, este valor não constituiria a disponibilidade real pois deverá subtrair-se a quantidade perdida por evaporação ao longo do ano. Esta quantidade depende, não só de parâmetros climáticos como a temperatura mas também da superfície livre de água, ou seja, da área da albufeira. Nesta perspectiva, as barragens a construir deverão ser instaladas em vales profundos, de modo a minimizar a superfície de água livre e, conseqüentemente, a perda de água por evaporação. Por exemplo se as barragens tivessem características semelhantes às da barragem de Poilão (ilha de Santiago), a superfície de água livre seria de 17 hectares (Gominho, 2007), o que conduziria a uma perda anual por evaporação de $266\,000 \text{ m}^3$, o que equivale a quase 12% dos recursos hídricos superficiais disponíveis em toda a ilha do Maio. Há ainda a considerar a quantidade de água que abandona a albufeira devido a infiltração. Contudo, esta quantidade não deve ser considerada à partida uma perda, uma vez que poderá constituir recarga aquífera e vir a constituir reservas hídricas subterrâneas. Por isso, do ponto de vista hidroclimatológico, afigura-se viável a construção de barragens na ilha do Maio sendo, no entanto, necessário desenvolver estudos de natureza geológica, geomorfológica e hidrogeológica no sentido de seleccionar os locais mais favoráveis à implantação das referidas barragens, devendo ser quantificados, com o máximo rigor possível, os aportes hídricos e as perdas de água em cada situação. Tais estudos devem ser desenvolvidos ao nível da bacia hidrográfica e, dentro de cada uma delas, ter em atenção a diversidade geológica, geomorfológica e hidrogeológica que condicionará a selecção do local de implantação das barragens. Ao nível hidroclimatológico seria muito importante dispor de dados pluviométricos da área correspondente ao maciço central da ilha, já que é

nesta área que deverão ocorrer as maiores precipitações, as quais, até a data, não são conhecidas. Impõe-se, por isso, a instalação imediata de, pelo menos, uma estação climatológica completa no Monte Penoso, uma vez que é a maior elevação orográfica da ilha do Maio. Sem estes dados, qualquer estimativa das disponibilidades hídricas superficiais carece de suporte e deve ser entendida como uma estimativa por defeito. Acresce a necessidade de garantir a qualidade dos registos pluviométricos já que, como se viu oportunamente, foram detectadas várias inconsistências nos dados disponíveis. Ora, não é possível fazer estimativas sólidas do escoamento superficial sem que a fonte destes recursos (precipitação) não esteja devidamente quantificada.

3.5.3. Recursos hídricos subterrâneos

As limitações referidas anteriormente têm também repercussões na avaliação quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos. Não obstante tais limitações, a estimativa da infiltração profunda foi efectuada recorrendo ao modelo de balanço hídrico diário previamente referido. Os resultados produzidos pelo modelo mostram que, em média, a infiltração profunda na ilha do Maio é de 14.1% da precipitação, embora se verifique uma grande variabilidade entre os resultados obtidos em cada uma das estações. Considerando este valor médio e a média da precipitação anual, os recursos hídricos subterrâneos são estimados em 17.5 mm, a que corresponde um volume de 4.7×10^6 m³/ano ou 12 900 m³/dia. Esta quantidade de água devidamente explorada proporcionaria a cada habitante da ilha do Maio cerca de 1 900 L/dia. Porém, as captações de água subterrânea nesta ilha distribuem-se predominantemente ao longo da faixa litoral, sendo praticamente inexistentes nas áreas interiores. Além disso, estas captações são exploradas de forma completamente descontrolada, pelo que, na actualidade, cerca de dois terços encontram-se secas. Acresce que, a sua localização em terrenos planos próximos do litoral parece interferir com o equilíbrio da interface água doce/água salgada, tendo conduzido em alguns casos a situações de salinização da água doce. Este tema será retomado posteriormente, quando se fizer o estudo da qualidade das águas subterrâneas da ilha do Maio.

As estimativas das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas mostram que estas últimas apresentam um potencial superior ao das águas superficiais. Com efeito, como se referiu anteriormente, os recursos hídricos subterrâneos representam cerca de dois terços dos recursos hídricos totais, enquanto as águas superficiais constituem apenas um terço desses recursos. Atendendo a que, em condições naturais, o tempo de permanência

das águas no meio subterrâneo é muito superior ao tempo de circulação das águas superficiais, as águas subterrâneas assumem, em termos quantitativos, um papel determinante no contexto das disponibilidades hídricas da ilha do Maio. Por isso, no quadro da gestão integrada dos recursos hídricos desta ilha, as águas subterrâneas deverão constituir fontes privilegiadas de água para o abastecimento domiciliário. No entanto, a sua exploração terá de ser efectuada de forma controlada, evitando situações de sobre-exploração que podem conduzir ao avanço da cunha salina em direcção ao interior da ilha e a rebaixamentos exagerados, não recuperáveis nos normais ciclos anuais de reposição.

3.5.4. Balanço de cloretos

O ião cloreto, devido à sua grande solubilidade e estabilidade química e biológica, pode ser considerado como um traçador quase ideal (Custódio e Llamas, 1983). É um dos constituintes mais importantes das águas subterrâneas, cuja proveniência está relacionada essencialmente com quatro fontes principais (Davis e De Wiest, 1971): (i) água marinha de sedimentação; (ii) dissolução de rochas evaporíticas; (iii) dissolução de partículas sólidas existentes na atmosfera, principalmente em regiões áridas; (iv) concentração, por evaporação, do cloreto existente nas águas da chuva. É esta última fonte que permite que o ião cloreto seja utilizado na estimativa da infiltração. A condensação do vapor de água dá-se à volta de partículas muito pequenas e sólidas que existem na atmosfera, transportadas pelo vento de forma permanente. As massas de ar, à medida que progridem do litoral para o interior, aumentam a concentração de poeiras oriundas da superfície dos continentes; pelo contrário, há uma diminuição da quantidade de cloretos, devido à sua origem marinha. Com efeito, as águas das chuvas apresentam um elevado teor de cloreto, quando as poeiras atmosféricas apresentam grande concentração do mesmo, designadamente junto ao litoral e nas zonas industrializadas. Para além da distância do mar, o teor de cloreto nas águas da chuva depende de alguns factores, tais como: (i) direcção e velocidade do vento; (ii) intensidade e duração da precipitação; (iii) tipo de precipitação; (iv) época do ano; (v) condições climáticas; (vi) relevo (Lima, 1994).

O método de balanço do ião cloreto foi desenvolvido por Eriksson e Khunakasem (1969), *in* Lima (2001) e compara os teores de cloretos das águas de infiltração com os teores dos mesmos nas águas subterrâneas

O balanço do ião cloreto é dado pela expressão (Custódio e Llamas, 1983):

$$\frac{I}{1000} C_i = \frac{(P - E_s)}{1000} C_p + a_s - a_v + a'_v$$

em que:

I – infiltração (mm);

P – precipitação (mm);

C_i - teor de cloretos nas águas subterrâneas (mg/l);

C_p - teor de cloretos na água da chuva (mg/l);

E_s - escoamento superficial (mm);

a_s - quantidade de cloretos lixiviados do solo ou de origem artificial (g/m²/ano);

a_v - retenção de cloretos pela vegetação (g/m²/ano);

a'_v - devolução de cloretos pela decomposição da vegetação que morre (g/m²/ano).

O coeficiente de infiltração pode ser calculado pela expressão (Custódio e Llamas, 1983):

$$Inf. = \frac{I}{p} = \left(1 - \frac{E_s}{P}\right) \frac{C_p}{C_i} + 1000 \frac{a_s - a_v + a'_v}{PC_i}$$

Considerando nula a quantidade de cloretos lixiviados do solo ou introduzidos artificialmente ($a_s = 0$) e que existe equilíbrio entre formação e decomposição de matéria orgânica ($a_v = a'_v$), a expressão anterior simplifica-se dando origem à seguinte fórmula:

$$Inf. = \frac{I}{p} = \left(1 - \frac{E_s}{P}\right) \frac{C_p}{C_i}$$

De acordo com Custódio e Llamas (1983), a aplicação deste modelo prevê que a amostra de água subterrânea corresponda à parte superficial dos aquíferos. Segundo os

mesmos autores, este método é particularmente válido em regiões áridas e planas, como é o caso da ilha do Maio.

Desta forma, esta metodologia constitui um complemento ao balanço hídrico sequencial diário na estimativa da recarga aquífera. Para a aplicação deste método dispõem-se de resultados analíticos de amostras de chuva colhidas na rede meteorológica da ilha do Maio durante parte da estação húmida do ano de 2010. Em cada uma das dez estações udométricas foram recolhidas quatro amostras, perfazendo um total de quarenta amostras. Contudo, uma das amostras da estação de Barreiro não possuía quantidade suficiente para a determinação analítica, tendo, por isso, sido desprezada. As trinta e nove amostras disponíveis foram analisadas em relação aos parâmetros condutividade eléctrica e cloretos. O Quadro 3.14 sintetiza os resultados obtidos.

Em relação à estação do Centro Zootécnico os teores de cloreto variam entre 3.1 mg/L e 9.5 mg/l, apresentando um valor médio de 5.6 mg/L.

A precipitação da estação de Pilão Cão apresenta concentrações de cloreto entre 5.6 mg/L e 36 mg/L. No conjunto das quatro amostras, a amostra menos concentrada descontextualiza-se relativamente às restantes três, cujas concentrações se situam entre 30 mg/L e 36 mg/L. O valor médio das quatro amostras é de 25.7 mg/L.

Na estação de Praia Gonçalo a concentração de cloreto na chuva é relativamente homogénea em três amostras, com teores a variarem entre 3.6 mg/L e 4.7 mg/L. A outra amostra apresenta um teor mais elevado de 14 mg/L. a média das quatro amostras é de 6.5 mg/L.

Como referido anteriormente a estação de Barreiro dispõe apenas de três amostras com concentrações de cloreto extremamente variáveis, já que o teor mínimo é de 5.2 mg/L e o teor máximo ascende a 105 mg/L. Este valor afecta o cálculo da média, que atinge o valor de 48.4 mg/L.

À semelhança da estação de Barreiro, também a estação de Figueira Horta apresenta uma amplitude de valores muito elevada. A concentração mínima é de 2.7 mg/L e a máxima é de 182 mg/L. A média nesta estação é de 53.4 mg/L.

A concentração de cloretos na chuva recolhida na estação de Monte Vermelho é relativamente homogénea, apresentando um valor mínimo de 6.1 mg/L e um máximo de 12 mg/L. A média nesta estação é de 9.1 mg/L.

Na estação de Vila do Maio ocorre uma grande amplitude nas concentrações de cloreto na chuva. O Valor mínimo obtido é 4.7 mg/L e o valor máximo é de 145 mg/L, com uma média de 56.2 mg/L.

A estação do Morro regista um valor mínimo de 6.1 mg/L e um valor máximo de 48 mg/L. Nesta estação, a concentração média de cloreto na chuva é de 20.0 mg/L.

Os valores obtidos na estação de Cascabulho são relativamente próximos dos obtidos na estação de Morro. O valor mínimo é de 5.8 mg/L e o máximo é de 43 mg/L. A média das quatro amostras é de 21.5 mg/L.

Finalmente, na estação de Pedro Vaz a concentração mínima de cloreto é de 3.6 mg/L e a máxima é de 69 mg/L. A média nesta estação é de 26.4 mg/L.

Do exposto, verifica-se uma elevada variabilidade na concentração de cloreto nas diferentes amostras recolhidas, o que mostra que a precipitação da ilha do Maio é extremamente variável no tempo e no espaço. Este facto tinha já sido enfatizado por Lima (1994) e Lima (2001), em estudos efectuados na região norte de Portugal continental.

Na Figura 3.13 apresentam-se os valores médios de cloreto da chuva recolhida nas diferentes estações.

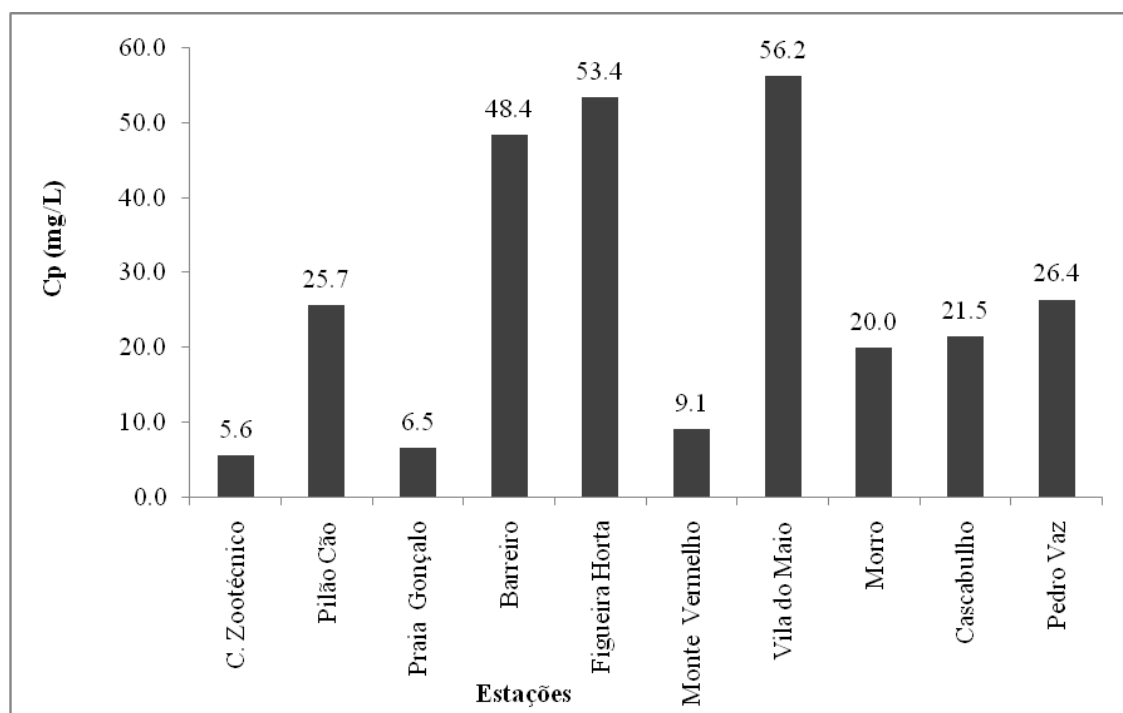


Figura 3.13. Concentração média de cloreto na precipitação (Cp) das diferentes estações da ilha do Maio.

Quadro 3.14. Concentração de cloreto (Cl⁻) e condutividade eléctrica (C.E) nas águas das chuvas em 2010 relativamente às estações em estudo.

C. Zootécnico	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	37	3.4
2	113.2	6.2
3	40	3.1
4	130.7	9.5

Pilão Cão	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	41.1	5.6
2	320	36
3	156.1	31
4	178.8	30

Praia Gonçalo	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	38.9	4.7
2	22.9	3.8
3	68.1	14
4	22.2	3.6

Barreiro	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	-	
2	205	35
3	631	105
4	36	5.2

Figueira Horta	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	48.8	2.7
2	88.2	14
3	1056	182
4	278	15

Morro	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	207	18
2	357	48
3	57.1	6.1
4	68.2	7.8

Vila do Maio	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	59.6	4.7
2	709	145
3	102.1	15
4	379	60

M. Vermelho	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	556	7.3
2	560	12
3	357	6.1
4	71.5	11

Cascabulho	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	165.4	18
2	254	43
3	70.4	5.8
4	419	19

Pedro Vaz	C.E (µS/cm)	Cl⁻ (mg/L)
1	250	69
2	142.4	29
3	19.8	3.8
4	19.1	3.6

Considerando a elevada amplitude dos teores de cloreto na chuva, onde se registou o mínimo de 2.7 mg/L e o máximo de 182 mg/L, ambos na estação de Figueira Horta, elaborou-se um diagrama, de forma a verificar se estes e outros valores extremos são considerados *outliers* (Figura 3.14). Como se observa na Figura 3.14 os dois valores mais elevados são, no contexto das trinta e nove amostras, considerados *outliers*, pelo que não serão utilizados no cálculo da concentração média de cloretos na chuva da ilha do Maio.

Excluindo os dois valores antes referidos, a concentração média de cloreto na precipitação é de 19.3 mg/L. Para o cálculo do coeficiente de infiltração eficaz, para além da concentração de cloreto na precipitação, é necessário conhecer a concentração de cloreto nas águas subterrâneas e a percentagem de precipitação que se converte em escoamento superficial. O valor desta última variável foi obtido na realização do balanço hídrico sequencial diário, tendo sido estimado em 0.07. A concentração média de cloretos nas

águas subterrâneas foi obtida com base nos resultados analíticos das amostras recolhidas na ilha do Maio no âmbito deste estudo. No entanto, do conjunto de 18 amostras foram eliminadas 6, por apresentarem indícios de contaminação pela actividade agrícola e/ou intrusão salina. A média das restantes 12 amostras é de 175.4 mg/L.

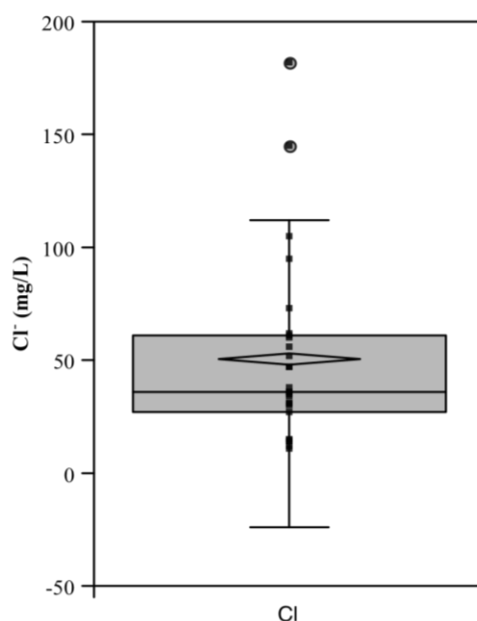


Figura 3.14. Distribuição dos teores de cloreto nas amostras de chuva recolhidas na ilha do Maio.

Com base nos valores antes enunciados, obtém-se um coeficiente de infiltração eficaz de 10.2%. Importa referir que este valor constitui uma média para a ilha do Maio, podendo as taxas de infiltração variar de local para local, em função das características dos eventos pluviosos e as características intrínsecas dos solos. O valor médio obtido (10.2%) é inferior ao estimado a partir da execução do balanço hídrico sequencial diário (14.1%). Desta forma, poderá dizer-se que, em média, a infiltração eficaz na ilha do Maio representa entre 10.2% e 14.1% da precipitação. Assim, em ano médio os recursos hídricos subterrâneos deverão situar-se entre 12.8 mm e 17.7 mm, a que correspondem volumes de $3.44 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $4.76 \times 10^6 \text{ m}^3$.

CAPÍTULO 4

HIDROGEOLOGIA

Os terrenos vulcânicos apresentam características hidrogeológicas muito específicas que estão relacionadas com a sua própria génese e com os processos de fracturação e alteração. Uma dessas características mais marcantes tem a ver com o carácter heterogéneo e anisotrópico dos meios vulcânicos, que conduz a comportamentos hidrogeológicos diversificados. Em consequência, os parâmetros hidráulicos dos aquíferos vulcânicos apresentam valores muito variáveis no espaço.

A porosidade das rochas vulcânicas varia muito, segundo a sua origem. Geralmente as escoadas lávicas apresentam uma porosidade compreendida entre os 10% e os 50%. A porosidade das rochas piroclásticas varia geralmente entre os 30% e os 50%, sendo que os valores mais elevados pertencem a depósitos recentes e os mais baixos a escoadas piroclásticas (Custódio e Llamas, 1983).

Estes elevados valores de porosidade que caracterizam algumas rochas vulcânicas nem sempre encontram paralelismo com as suas características hidráulicas. De facto, algumas rochas de elevada porosidade, como alguns tufos, apresentam normalmente condutividade hidráulica reduzida.

Para além das condições genéticas, processos secundários podem modificar as características originais dos depósitos como é o caso da sua alteração que pode provocar uma redução acentuada da porosidade e da condutividade hidráulica (Cruz, 2004).

Segundo o mesmo autor, as descontinuidades, a intrusão de filões e a fracturação podem ter um importante papel hidrogeológico, funcionando como níveis impermeáveis, promovendo assim a compartimentação dos sistemas.

Após o arrefecimento de uma escoada lávica, e em resultado de ocorrências de fracturas paralelas ao topo e á base, de uma forma geral verifica-se que segundo a direcção em que a lava fluiu ocorre a condutividade hidráulica máxima; pelo contrário, na direcção perpendicular constata-se a condutividade hidráulica mínima. A intrusão de filões verticais provoca a alteração destas condições, visto que se desenvolve uma condutividade hidráulica elevada de acordo com a direcção da estrutura intrusiva e uma condutividade hidráulica muito reduzida na direcção perpendicular (Cruz, 2004).

Como se referiu anteriormente, a série vulcânica antiga da ilha do Maio apresenta-se bastante fracturada e pouco alterada, o que lhe confere uma importância hidrogeológica

acrescida em relação às restantes ilhas do Arquipélago. Acresce que a ilha do Maio é também a única que apresenta formações anteriores ao Complexo Eruptivo Interno Antigo. Por estas razões, apesar da exiguidade da precipitação, esta ilha apresenta peculiaridades hidrogeológicas que lhe conferem um estatuto privilegiado no contexto da hidrogeologia do Arquipélago de Cabo Verde.

Segundo Vailloux e Bourguet (1974), todas as formações geológicas da ilha do Maio são relativamente permeáveis, apresentando potenciais de produtividade que podem ultrapassar uma centena de metros cúbicos por dia. De acordo com estes autores, é necessário, no entanto, considerar dois domínios distintos: o domínio sul e este e o domínio noroeste. O primeiro, de menor permeabilidade, apresenta gradiente hidráulico elevado, limitando a invasão marinha às zonas baixas das principais ribeiras. O domínio noroeste, mais permeável, apresenta gradientes hidráulicos pouco acentuados, favorecendo a intrusão salina.

4.1. Inventário e selecção de pontos de água

A necessidade da água para consumo humano, agricultura e pecuária da ilha do Maio levaram a um programa de pesquisa, captação e exploração de águas subterrâneas, iniciado em 1976. Os resultados conseguidos no âmbito deste programa satisfizeram os objectivos preconizados, tendo-se obtido água potável para as populações e água para as principais actividades produtivas da ilha, nomeadamente a agricultura e a pecuária (Mota Gomes, 1992).

Para além do recurso às águas subterrâneas, o fornecimento de água às populações é feito também a partir da dessalinização da água do mar em diversos locais da ilha, tais como, Vila do Porto Inglês, Pedro Vaz e Ribeira D. João. A necessidade de recorrer a água do mar resulta do facto de que muitos poços se encontram secos ou possuem água imprópria para o consumo humano.

Uma actualização do inventário de pontos de água da ilha do Maio levado a cabo por Mota Gomes (2008), revelou a existência de 383 pontos distribuídos de acordo com a seguinte tipologia: (i) 304 poços, estando 202 sem água; (ii) 26 furos, sendo 9 sem água; (iii) 6 nascentes, sendo 4 sem água.

No âmbito do presente estudo, foram seleccionados 18 pontos de água, dos quais 14 são poços, 3 são furos e o restante corresponde a um charco. Na Figura 4.1 apresenta-se a

distribuição espacial dos pontos de água seleccionados e, no Quadro 4.1 a tipologia e as coordenadas, dos mesmos.

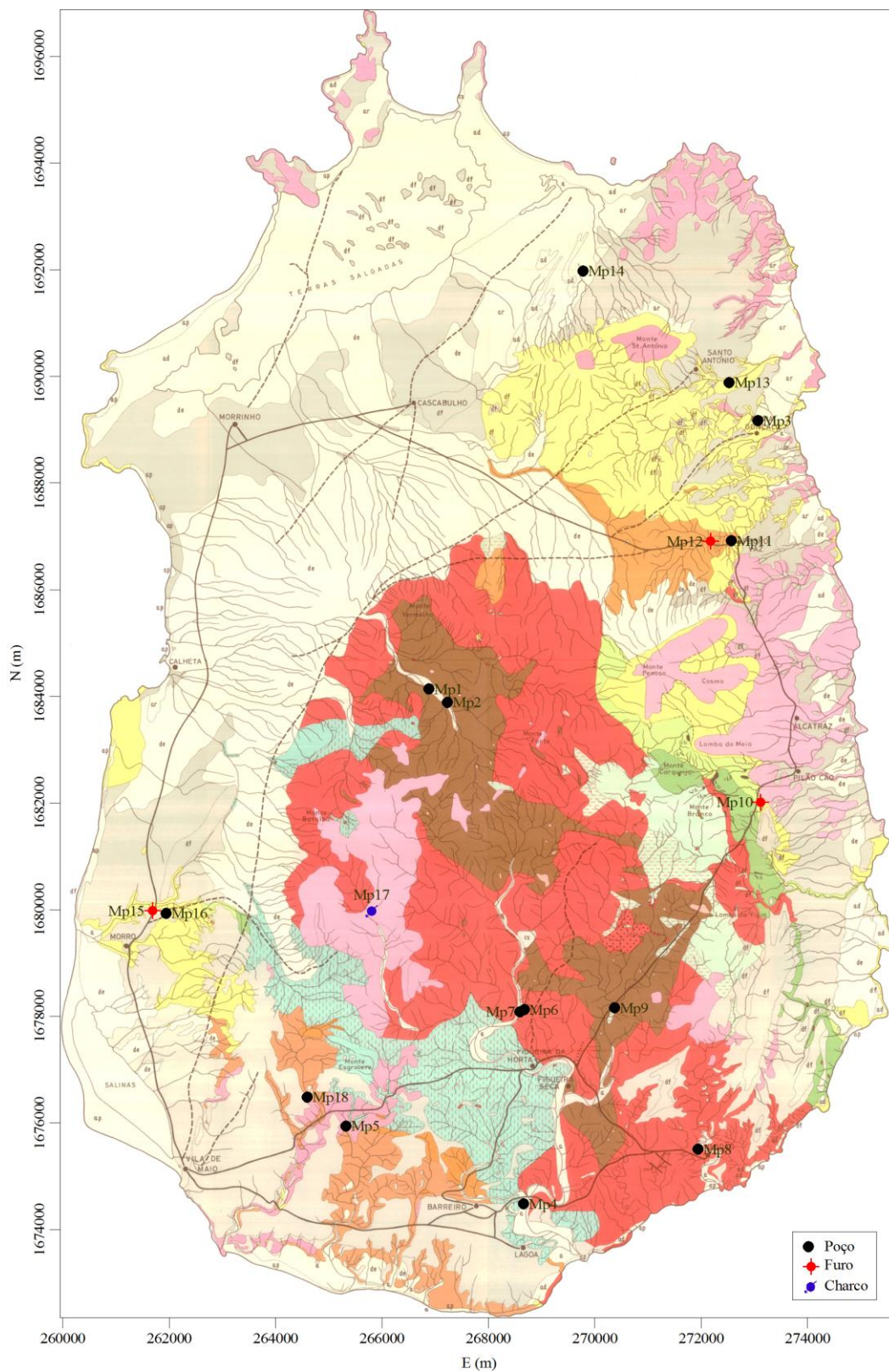


Figura 4.1. Distribuição espacial dos pontos de água seleccionados na ilha do Maio.

Quadro 4.1. Pontos de água seleccionados na ilha do Maio. Referenciação UTM/WGS 84.

Ponto de água	Tipo	E (m)	N (m)	Z (m)
Mp1	Poço	266882	1684139	75
Mp2	Poço	267231	1683886	84
Mp3	Poço	273067	1689170	35
Mp4	Poço	268662	1674483	20
Mp5	Poço	265321	1675945	40
Mp6	Poço	268673	1678126	58
Mp7	Poço	268593	1678086	58
Mp8	Poço	271937	1675508	14
Mp9	Poço	270371	1678159	58
Mp10	Furo	273117	1682020	52
Mp11	Poço	272566	1686916	39
Mp12	Furo	272176	1686908	49
Mp13	Poço	272523	1689882	36
Mp14	Poço	269776	1691974	30
Mp15	Furo	261683	1679979	33
Mp16	Poço	261939	1679931	38
Mp17	Charco	265801	1679972	126
Mp18	Poço	264597	1676485	62

Na selecção destes pontos de água tentou-se abranger toda a ilha e a maior diversidade litológica (Figura 4.1). Além disso, pretendia-se também incluir pontos de água situados a diferentes altitudes. Contudo, não foi possível seguir rigorosamente estes critérios, até porque não são conhecidos pontos de água nas áreas situadas a cotas mais elevadas, nomeadamente no Monte Penoso. Este aspecto é de enfatizar pois as condições geológicas e geomorfológicas da ilha do Maio sugerem a existência de recursos hídricos subterrâneos não negligenciáveis nas áreas associadas ao maciço central. Este aspecto foi, aliás, já salientado por Vaillieux e Bourguet (1974), sendo considerado uma especificidade da ilha do Maio no contexto do Arquipélago de Cabo Verde. Como tal, sugere-se vivamente a execução de sondagens hidrogeológicas nas referidas áreas, com vista a um eventual aproveitamento dos recursos hídricos aí disponíveis. A construção de captações de águas subterrâneas nestas áreas acumula ainda a vantagem de possuir um risco de intrusão salina limitado.

De acordo com o Quadro 4.1, verifica-se que a maioria dos pontos de água seleccionados corresponde a poços de grande diâmetro utilizados essencialmente na agricultura e na pecuária. Como podemos verificar na Figura 4.2, os poços apresentam uma profundidade média da ordem dos 9.7 metros, sendo a profundidade mais elevada atingida no poço Mp1, num valor de 14.6 metros; pelo contrário, a profundidade mais baixa é atingida no poço Mp5, num valor de 6.4 metros.

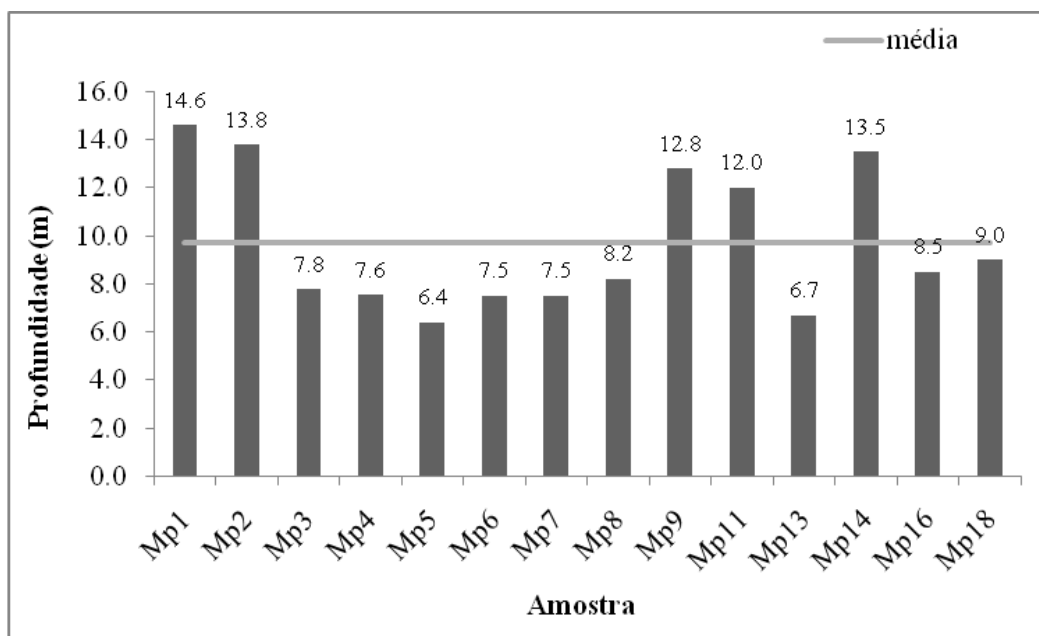


Figura 4.2. Distribuição da profundidade dos poços da ilha do Maio seleccionados no âmbito deste estudo.

A totalidade dos poços seleccionados corresponde a poços de grande diâmetro, podendo atingir uma dezena de metros. Alguns encontram-se revestidos e outros dispostos de qualquer revestimento, como se pode observar nas Figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.



Figura 4.3. Aspecto do poço Mp3 na localidade de Praia Gonçalo, ilha do Maio.



Figura 4.4. Aspecto do poço Mp9 nas proximidades de Figueira da Horta, da ilha do Maio.

Além dos poços referidos, foram também seleccionados três furos. Na Figura 4.5 apresenta-se o aspecto do furo Mp10, localizado na zona de Pilão Cão.



Figura 4.5. Aspecto do furo Mp10 na localidade Pilão Cão, ilha do Maio.

Finalmente, no âmbito deste estudo foi também seleccionado um charco (Mp17) existente entre as localidades de Vila do Maio e Figueira Horta (Figura 4.6). Este local é utilizado pelos animais para beberem água, estando por isso muito conspurcado por esta actividade.



Figura 4.6. Aspecto de um charco correspondente ao ponto de água Mp17 localizado entre a Vila do Maio e Figueira Horta.

4.2. Escoamento Subterrâneo

A Figura 4.7 mostra a carta de isopiezas da ilha do Maio, elaborada com base nas medições efectuadas em 29 e 30 de Março de 2010. De salientar desde já o reduzido numero de ponto utilizado nas medições piezométricas. Não obstante, os dados disponíveis permitem verificar que o escoamento subterrâneo se processa de forma radial a partir da zona central da ilha, de acordo com gradientes hidráulicos que variam entre 0.05% e 2.9%. A distribuição dos valores de gradiente hidráulico segue, em termos gerais, a morfologia do terreno, situando-se os valores mais baixos na parte norte da ilha, na zona correspondente às terras salgadas. Como se referiu oportunamente, não se dispõe de piezómetros nas zonas situadas a cotas mais elevadas, pelo que se admite que nestas zonas o gradiente hidráulico possa atingir valores mais elevados que os anteriormente referidos.

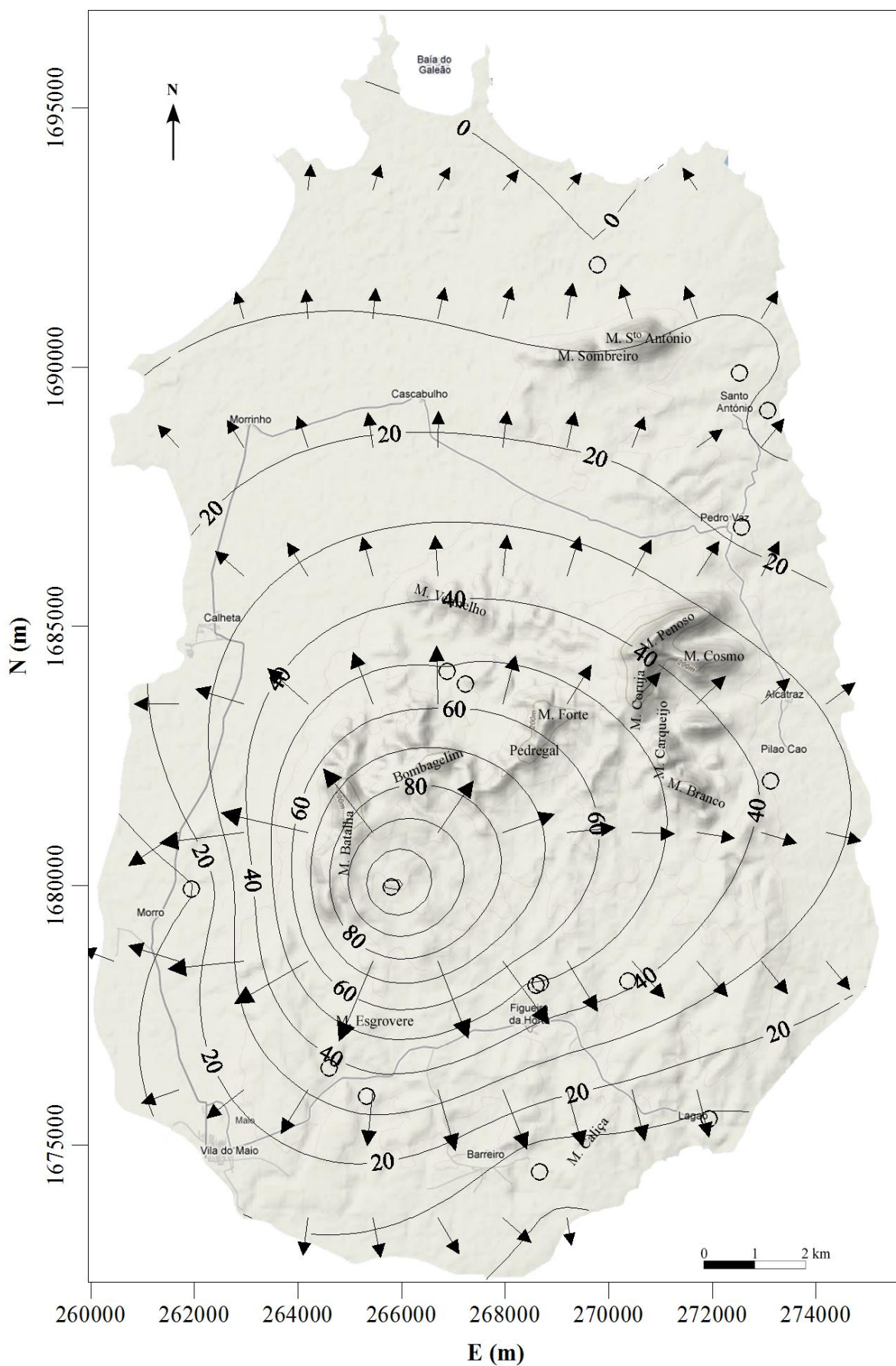


Figura 4.7. Mapa do nível freático da ilha do Maio e o seu respectivo derrame.

Retomando as características do escoamento subterrâneo na zona central da ilha, verifica-se que o gradiente hidráulico assume valores muito baixos, da ordem dos 0.05%. Este facto tem como consequência uma diminuição da inclinação da interface água doce/água salgada, favorecendo o fenómeno de intrusão salina. De facto, considerando uma interface rígida, governada pelo princípio de Ghijben-Herzberg, admite-se que a inclinação desta interface na zona das terras salgadas seja da ordem dos 2% ou inferior. Por exemplo, no caso do poço Mp14, em que o nível freático se situa apenas a 0.20 m acima do nível médio das águas do mar, a profundidade da interface situa-se apenas a 8 m. No entanto, uma vez que a água doce e a água salgada não são líquidos totalmente imiscíveis e, portanto, a interface não é rígida, existe uma zona de mistura, também conhecida como zona de dispersão, que estabelece a passagem progressiva entre os dois tipos de água. É esta provavelmente a razão pela qual a água subterrânea da parte setentrional da ilha do Maio apresenta características salobras, como acontece no ponto Mp14. Da mesma forma, a própria designação de terras salgadas deverá ser o reflexo desta situação. A Figura 4.8 pretende ilustrar a relação entre a água doce e a água salgada na ilha do Maio ao longo de um perfil norte-sul com início em Ponta Cais e terminando junto à foz da Ribeira de Cumiassa. Como se observa nesta Figura, ao longo dos 5 km iniciais do perfil (sector norte da ilha – Terras Salgadas) a interface água doce/água salgada está muito próxima da superfície do terreno, provocando a salinização da água e dos solos. O aumento do gradiente hidráulico em direcção a zona central da ilha obriga a interface a afastar-se para zonas mais profundas, proporcionando a existência de águas subterrâneas isentas de contaminação por águas salgadas. A progressão para a zona sul é acompanhada de uma diminuição piezométrica e a consequente subida da interface água doce/água salgada. No entanto, na costa costeira meridional o fenómeno de intrusão salina, a existir, não terá a magnitude da região das Terras salgadas, uma vez que o gradiente hidráulico no sector sul é superior ao do sector norte, mantendo desta forma a interface água doce/água salgada a maior profundidade.

O tema da intrusão salina na ilha do Maio será retomado no próximo capítulo com base na análise e interpretação de dados hidrogeoquímicos.

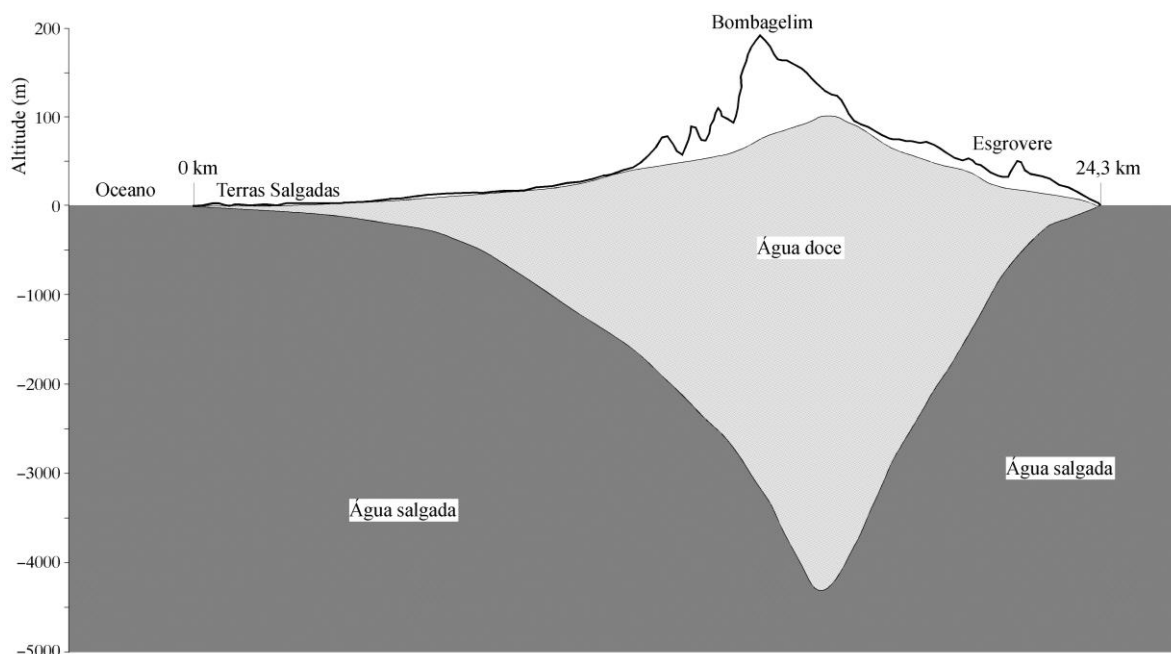


Figura 4.8. Configuração provável da interface água doce/água salgada sob a ilha do Maio segundo a orientação norte-sul entre Ponta Cais e Ribeira de Cumiassa.

4.3. Hidrogeoquímica

A precipitação, em contacto com o solo, pode ter destinos variados tais como: escorrência à superfície percorrendo um trajecto mais ou menos longo; infiltração para o interior da terra, constituindo as águas subterrâneas; regresso à atmosfera sob a forma de vapor. A água da chuva não é uma água pura, visto que contém sais dissolvidos em concentrações variadas, dependendo da distância ao mar, da situação topográfica, da densidade populacional e industrial, entre outros aspectos (Lima, 1994). Em função do trajecto percorrido, as águas ganham maior ou menor mineralização por dissolução de sais, contando com a contribuição de alguns factores tais como (Lafuente, 1981):

- a superfície de contacto entre a água e o meio (rochas);
- o comprimento do trajecto percorrido;
- a concentração de sais nas rochas;
- os fenómenos de difusão;
- o tempo de contacto;
- a temperatura;
- a pressão.

De acordo com Lima (1994), a superfície de contacto entre a água e a rocha assume um papel predominante na velocidade com que os sais passam para água, sendo que a menor ou maior superfície de contacta relaciona-se com a textura dos materiais. Assim, os materiais de granulometria grosseira tem menor superfície específica do que os de granulometria fina. Esta é uma das razões pelas quais os meios fissurados apresentam dificuldades na dissolução de sais, devido à pequena superfície de contacto que se estabelece entre a água e a rocha.

O tempo de contacto relaciona-se com o comprimento do trajecto que as águas percorrem. As regiões em que a água percorre grandes trajectos são propícias à dissolução de sais, visto que o tempo de contacto é maior. No entanto, as circulações locais dão às águas um baixo teor de sais dissolvidos (Lima, 1994).

Segundo o mesmo autor, a concentração de sais nas rochas é também um aspecto importante em relação aos fenómenos de dissolução, visto que, se uma rocha contém elevadas concentrações de sais solúveis, mais rapidamente irá ocorrer a dissolução dos mesmos. Os fenómenos de difusão e evaporação estão muitas vezes associados à concentração de sais.

A temperatura e a pressão são fenómenos que também dão o seu contributo na dissolução de sais (Lima, 1994).

Segundo o mesmo autor, a hidrogeoquímica estabelece um grande campo de trabalho que possibilita a interpretação de fenómenos hidrogeológicos diversos. Para além de caracterizar as águas em determinadas regiões e aconselhar o seu uso, podem também transmitir informações em relação a zonas de recarga, na identificação dos circuitos subterrâneos e na avaliação de parâmetros hidráulicos, na geometria dos aquíferos, na detecção de unidades litológicas em profundidade e na prospecção mineira, avaliação dos impactos do fenómenos poluidores e na identificação dos respectivos focos e trajectos, entre outros.

4.3.1. Verificação da qualidade dos dados analíticos

De acordo com Oppenheimer e Eaton (1986), a verificação da precisão analítica de amostras de água deve ser feita de acordo com os seguintes parâmetros.

- cálculo do erro de balanço de cargas;

- verificação da igualdade entre o total de sólidos dissolvidos medido (TSDm) e o calculado (TSDc);
- verificação da igualdade entre a condutividade eléctrica medida (CEm) e a calculada (CEc);
- concordância entre a soma de catiões (ou aniões) expressa em meq/L e a CEm
- identificação de uma relação mais ou menos constante entre o TDS e a CEm;

Em relação ao balanço de cargas, o cálculo do respectivo erro (EBC) é feito mediante a

expressão:

$$EBC \text{ (\%)} = \frac{\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}}{\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}} \times 100$$

Os somatórios dos catiões e aniões deverão ser expressos em meq/L. Os critérios de aceitação dos resultados dependem da mineralização total das águas. Desta forma, para mineralizações até 6,0 meq/l admitem-se diferenças de 0,2 meq/L entre os somatórios de catiões e aniões. Para amostras que se encontram entre 6,0 meq/L e 40,0 meq/L aceitam-se erros até 2%. Para mineralizações superiores a 40,0 meq/L e até 1600 meq/L, os erros de balanço de cargas podem atingir 5% (Oppenheimer e Eaton, 1986).

De acordo com os mesmos autores, os valores da relação TSDc/CE encontram-se normalmente compreendidos entre 0,55 e 0,7. Valores inferiores ao mínimo indicam que certos constituintes não doseados, como amónio ou nitrito, estão presentes em concentrações significativas, pelo que deverão ser realizadas as respectivas determinações. Valores superiores a 0,7 sugerem que houve sobreavaliação das concentrações dos diferentes constituintes, pelo que deve ser repetida a análise. As águas em que o cálcio e o sulfato são os iões dominantes que, pela sua fraca dissociação, conduzem normalmente a valores de TSDc da ordem de 0,8 CE constituem excepção. Da mesma forma, amostra de água em que a sílica representa uma fracção elevada na mineralização total, a relação TSD/CE ultrapassa muitas vezes o limite superior de 0,7.

No presente estudo, a verificação da qualidade dos resultados analíticos foi efectuada com recurso ao cálculo do EBC, à averiguação da concordância entre a soma de catiões (ou aniões) expressa em meq/L e a CEM e à verificação da relação entre o TDS e a CE.

Em relação ao EBC, os resultados obtidos estão representados na Figura 4.9, onde se evidencia a amostra Mp3 que regista um erro de -25.8%. Contrastando com esta amostra de água, o valor mais baixo está associado à amostra Mp10, cujo erro é praticamente nulo (0.02%). De um modo geral, os valores do EBC caem no intervalo de aceitação dos resultados analíticos, embora em alguns casos sejam superiores a 5%. Referência especial merece mais uma vez a amostra Mp3 uma vez que constitui um caso excepcional no contexto das amostras analisadas. De facto, enquanto na globalidade das amostras os EBC raramente ultrapassam os 5% a amostra Mp3 ultrapassa os 25%, denunciando um excesso de cargas negativas (aniões) ou uma deficiência de cargas positivas (catiões). No sentido de esclarecer esta situação e utilizando mais um critério de verificação da qualidade dos dados analíticos, foram calculadas as razões entre os somatórios dos catiões (cat) e dos aniões (an) multiplicados por 100 e a CE das águas. Os resultados estão expressos na Figura 4.10.

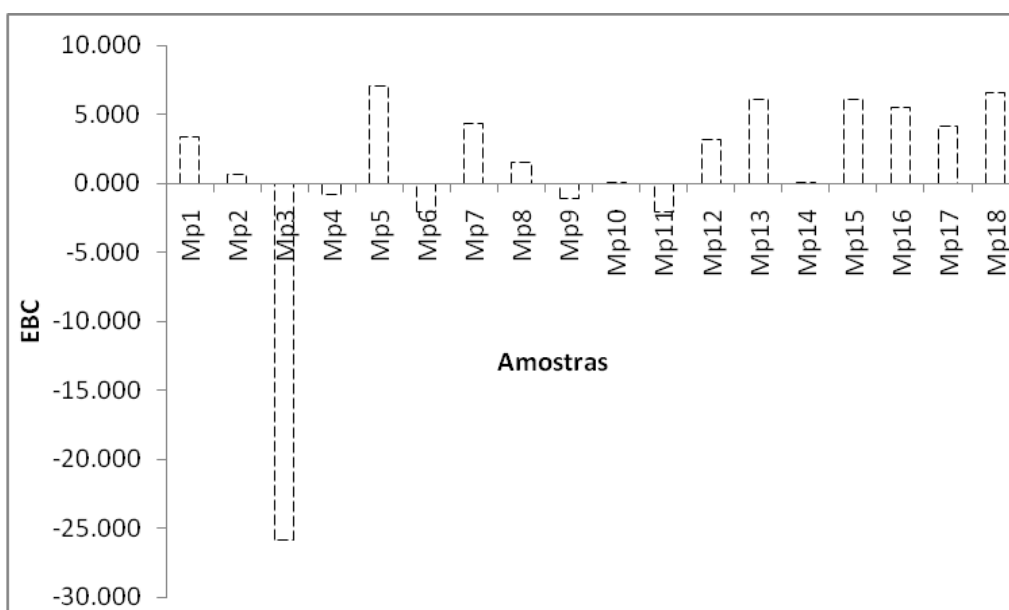


Figura 4.9. Distribuição dos Erros de Balanço de Cargas das amostras da ilha do Maio.

Da observação da Figura 4.10, ressaltam dois aspectos principais: a concentração da quase totalidade dos pontos em torno da recta de razão unitária e o afastamento significativo do ponto representativo da amostra Mp3 em relação àquela recta, revelando

uma deficiência de cargas positivas. Como tal, após a aplicação deste critério, pode concluir-se que, à excepção da amostra Mp3, todas as restantes amostras revelam elevada qualidade dos resultados analíticos. No que respeita à componente aniónica, a amostra Mp3 apresenta também qualidade analítica, mas a componente catiónica foi avaliada por defeito. Como tal, as concentrações dos catiões nesta amostra deverão ser interpretadas com as devidas precauções.

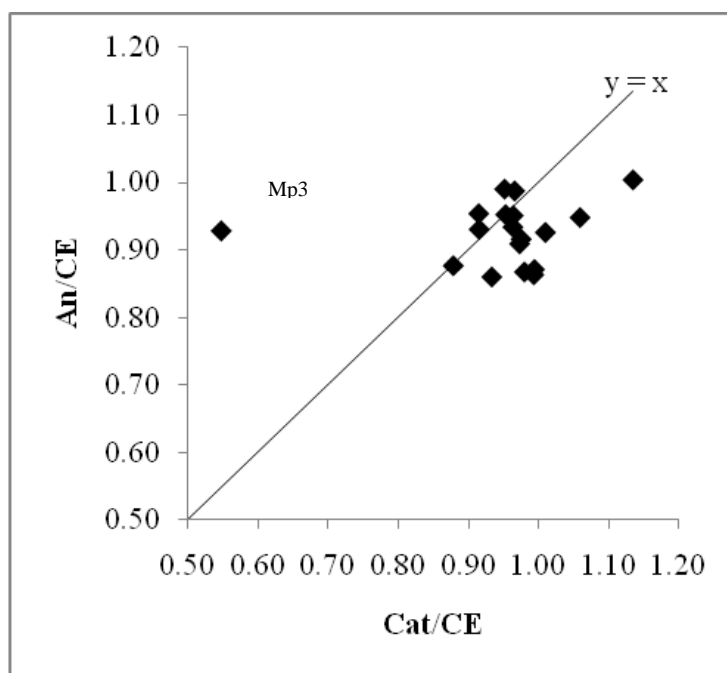


Figura 4.10. Diagrama de dispersão das razões Cat/CE e An/CE.

No que respeita à relação entre a CE e o TSD, verifica-se uma boa dependência entre os dois parâmetros (Figura 4.11). No entanto, o melhor ajuste não intersecta a origem dos eixos coordenados, sendo que a ordenada na origem possui o valor de 283 mg/L, o que é incompatível com uma CE nula. Reajustando os dados de forma que a recta de regressão passe pela origem das coordenadas, obtém-se a seguinte relação entre o TSD e a CE:

$$\text{TSD (mg/L)} = 0.56 * \text{CE } (\mu\text{S/cm})$$

O valor do coeficiente angular (0.56) insere-se no intervalo referido por Oppenheimer e Eaton (1986).

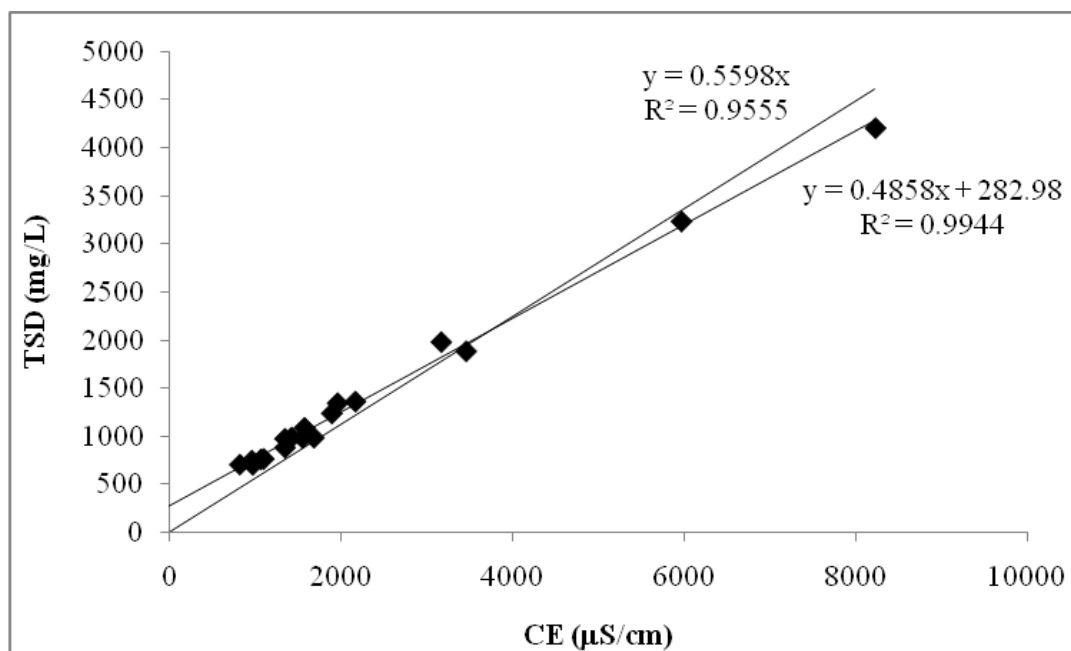


Figura 4.11. Relação entre o Total de Sólidos Dissolvidos (TSD) e a Condutividade Eléctrica (CE) das águas analisadas.

Em face do exposto, pode concluir-se que a quase totalidade das amostras de água analisadas apresentam resultados analíticos de elevada qualidade. A amostra Mp3 constitui a única excepção, mas apenas em relação á componente catiónica

4.3.2. Caracterização Hidrogeoquímica

4.3.2.1. Parâmetros globais

O estudo hidrogeoquímico efectuado teve como base os pontos de água representados na Figura 4.1. Na altura da amostragem foram medidos no campo, os seguintes parâmetros: condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura. Estes parâmetros, juntamente com o total de sólidos dissolvidos são considerados os parâmetros globais das águas subterrâneas em estudo.

A condutividade eléctrica é a capacidade de uma água conduzir a electricidade; correspondente à quantidade de electricidade transportada pela água entre dois eléctrodos paralelos de 1 cm² de secção e separados por 1 cm, sob uma diferença de potencial de 1 volt. A temperatura, a carga e o tipo de ião presentes e a sua concentração exercem grande influência na condutividade de uma solução. Assim, é fundamental o estabelecimento de

uma temperatura de referência (Lima, 2010). Na Figura 4.12 apresentam-se os valores da condutividade eléctrica das amostras em estudo. A amostra relativa ao Mp14 apresenta o valor mais elevado, de 7730 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pelo contrário, a amostra do ponto Mp5 apresenta o valor mais baixo (832 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Em média, a condutividade eléctrica é de 2231.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

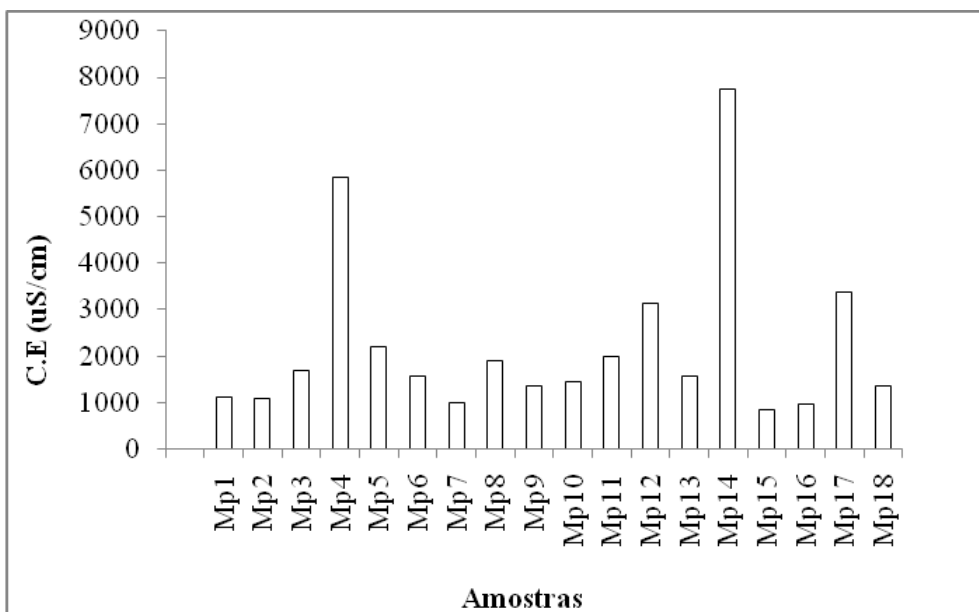


Figura 4.12. Distribuição da condutividade eléctrica dos pontos de água em estudo.

Além da medição efectuada no momento da colheita das amostras, a condutividade eléctrica foi posteriormente medida no laboratório passados 18 dias. Apesar do tempo decorrido entre as duas medições, a condutividade eléctrica das amostras manteve-se inalterável (Figura 4.13). O melhor ajuste produz um valor de ordenada na origem de -105.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por sua vez, quando se obriga a recta de regressão a passar na origem das coordenadas, a condutividade eléctrica do laboratório é cerca 3% superior à condutividade de campo. Esta diferença poderá estar relacionada com a calibração dos condutivímetros, já que, num caso e no outro, foram utilizados equipamentos distintos. Uma outra explicação poderá ser a própria precisão dos equipamentos de medição. Não obstante, considera-se que os valores de campo e de laboratório são praticamente indistintos.

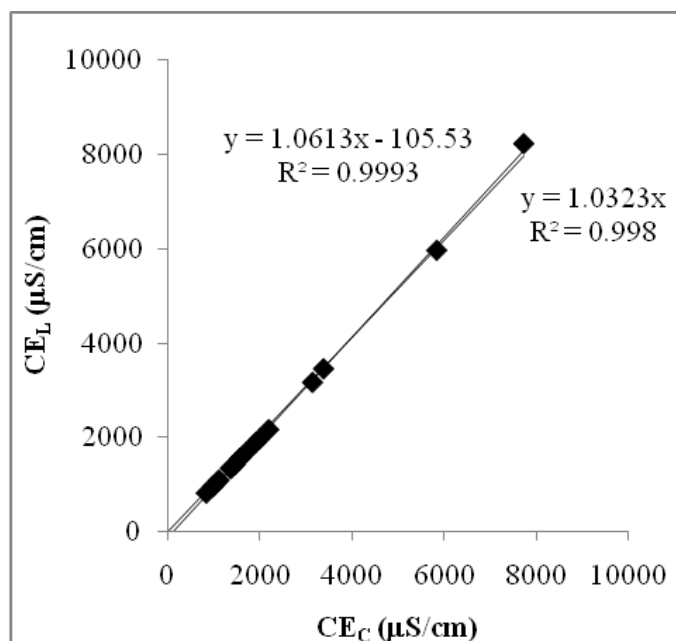


Figura 4.13. Diagrama de dispersão dos valores de condutividade eléctrica medidos no campo (CE_C) e no laboratório (CE_L).

O pH é uma medida da concentração efectiva de iões hidrogénio numa solução (Lima, 2010). A sua origem nas águas pode ser tanto natural como artificial. Na Figura 4.14 está representado a distribuição dos valores de pH medidos no campo, na altura da recolha das amostras em estudo.

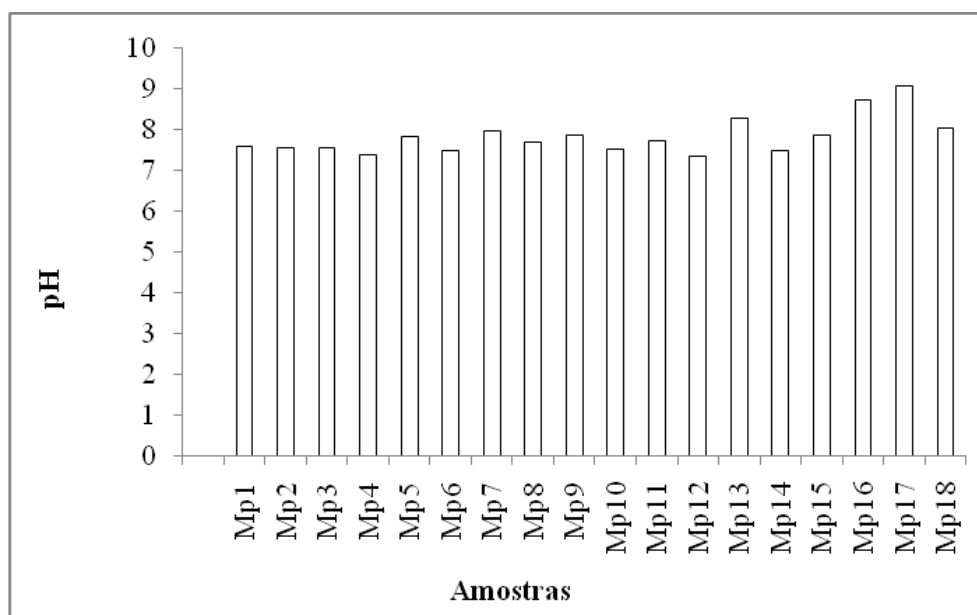


Figura 4.14. Distribuição do pH dos pontos de água em estudo medido no campo

Como se observa na Figura 4.14, o pH apresenta, em média, o valor de 7.8, tendo como máximo a amostra relativa ao ponto Mp17 (9.05) e um valor mínimo de 7.35, correspondente ao ponto Mp12.

À semelhança da condutividade, também o pH das amostras recolhidas foi medido posteriormente em laboratório. No entanto, ao contrário da condutividade, os valores de pH de campo e de laboratório não definem uma relação linear significativa, embora os pontos representativo se disponham em torno da recta de inclinação unitária (Figura 4.15). Observa-se uma certa tendência para que os valores de laboratório sejam superiores aos de campo. Contudo, o maior desvio ocorre na amostra Mp17, onde o valor de campo (9.05) é muito superior ao valor do laboratório (7.73). Esta diferença poderá estar relacionada com as condições desfavoráveis de medição no campo, uma vez que a água apresentava muita turvação e elevada concentração de matéria orgânica. Uma explicação adicional, mais provável, é a decomposição da própria matéria orgânica que ocorreu no intervalo de tempo decorrido entre a colheita da amostra e a medição laboratorial do pH. De facto, o processo de composição da matéria orgânica liberta CO_2 tendo como consequência uma diminuição de pH.

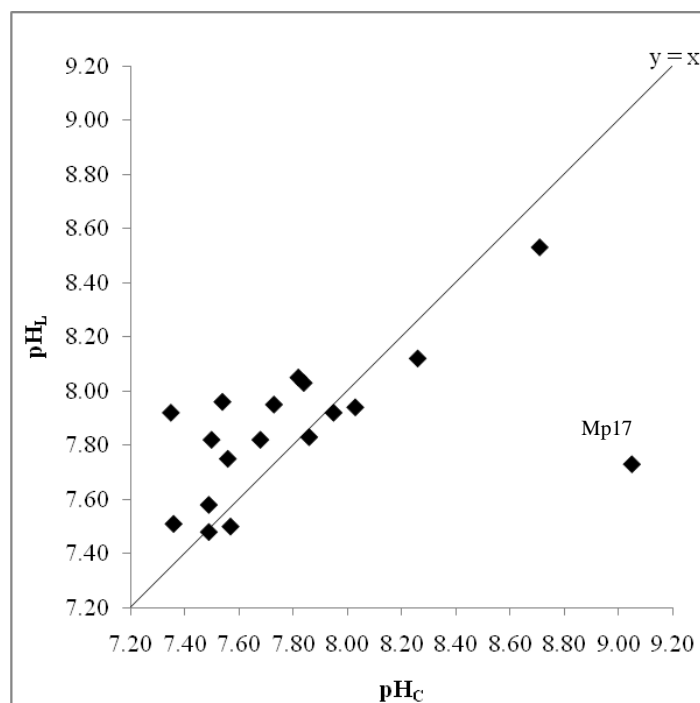


Figura 4.15. Distribuição dos valores de pH medidos no campo (pH_C) e no laboratório (pH_L).

Em relação ao potencial redox (Eh) das amostras recolhidas, os valores estão compreendidos entre -94 mV (Mp4) e 259 mV em Mp14 (Figura 4.16). Exceptuando o valor negativo registado na amostra Mp4, os restantes oscilam entre 176 mV (Mp1 e Mp3) e 259 mV (Mp14), indicando que, de um modo geral, as águas subterrâneas da ilha do Maio apresentam características oxidantes. O valor negativo registado em Mp4 deverá estar relacionado com o fenómeno de eutrofização que aí se observa (Figura 4.17), provocando uma diminuição do oxigénio dissolvido na água e conferindo-lhe características anóxicas.

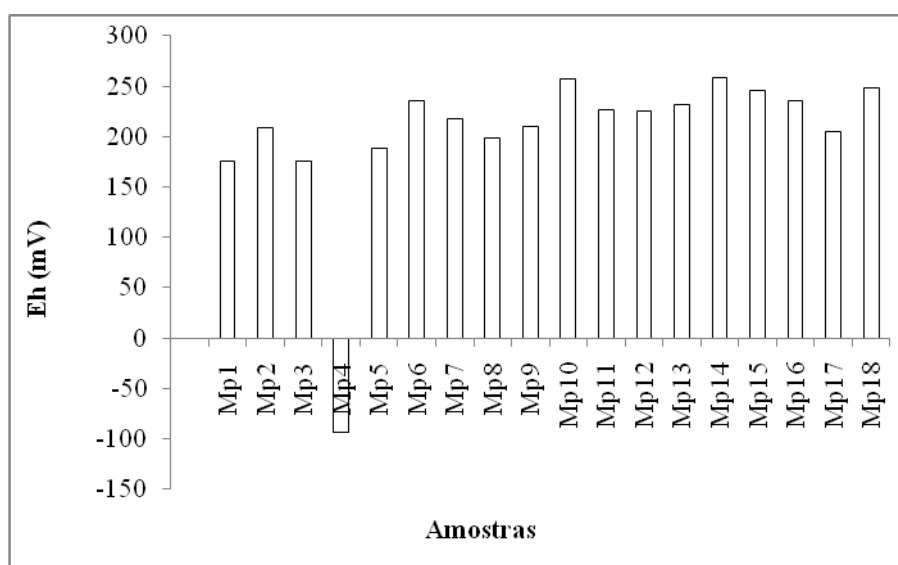


Figura 4.16. Distribuição de Eh dos pontos de água em estudo.



Figura 4.17. Aspecto do fenómeno de eutrofização observado no ponto Mp4.

A temperatura da água, como parâmetro que mede o calor, depende da energia cinética média das moléculas e está condicionada pelo tipo de terreno em que circula. Nas águas subterrâneas, a temperatura depende parcialmente da temperatura atmosférica e do aumento da temperatura relacionado com o gradiente geotérmico (Lima, 2010). Na Figura 4.18 está representada a distribuição dos valores da temperatura das águas subterrâneas em estudo.

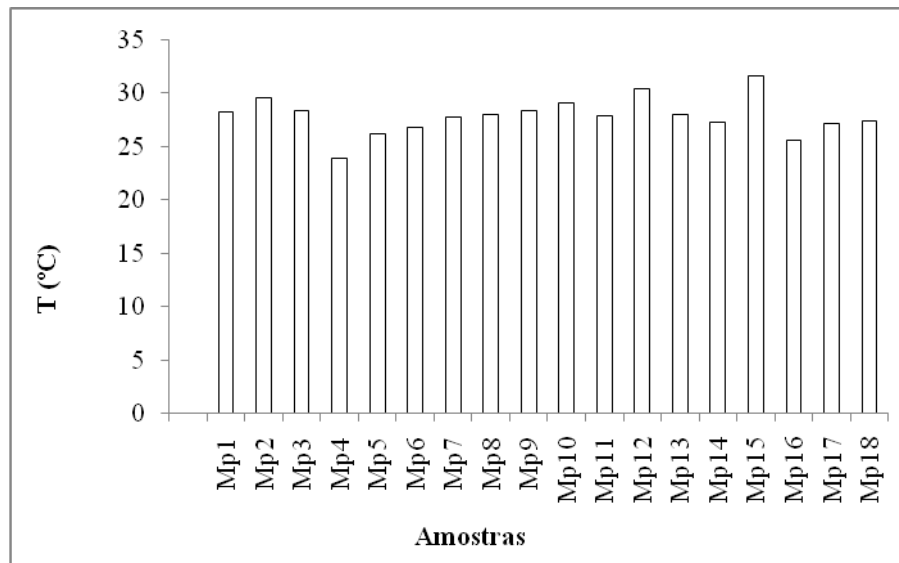


Figura 4.18. Distribuição dos valores de temperatura dos pontos de água em estudo.

Como se observa na Figura 4.18, o valor mínimo de temperatura (23.9 °C) corresponde à amostra Mp4 e o valor máximo (31.6 °C) foi medido no ponto Mp15. A média da temperatura das águas subterrâneas em estudo é de 27.9 °C. De salientar que algumas das amostras que registam temperaturas mais elevadas não foram recolhidas à cabeça da captação e estão, por isso, influenciadas pela temperatura atmosférica. Comparando o valor médio da temperatura das águas subterrâneas com a temperatura média anual do ar (24.5 °C), verifica-se que as águas em estudo são consideradas águas ortotermais na classificação proposta por Schöeller (1962). Na mesma classificação, a água correspondente ao ponto Mp4 é uma água hipotermal, já que a sua temperatura (23.9 °C) é inferior à temperatura média anual do ar (24.5 °C). Pelo contrário, as águas dos pontos Mp2, Mp10, Mp12 e Mp15, pelo facto de possuírem temperaturas que ultrapassam o limite de 4 °C acima da temperatura média anual do ar, podem ser denominadas de hipertermais. No entanto, à excepção da amostra Mp12, as restantes foram recolhidas em pontos afastados das respectivas captações. Desta forma, considera-se que a água correspondente

ao ponto Mp12 é a única que pode ser classificada como hipertermal, uma vez que a sua temperatura (30.4 °C) é superior a 28.5 °C (24.5 °C + 4 °C). Tratando-se de um furo, ou seja, uma captação mais profunda que os poços, é possível que este carácter hipertermal esteja relacionado com a influência do gradiente geotérmico.

O total de sólidos dissolvidos (TSD) corresponde ao somatório de todas as espécies dissolvidas, iónicas ou neutras. Este parâmetro traduz a mineralização total das amostras e só pode ser determinado por cálculo a partir dos resultados analíticos. Experimentalmente, a mineralização de uma água é normalmente avaliada a partir da determinação do seu resíduo seco (RS) a 180 °C, existindo uma relação entre os dois parâmetros, tal como se ilustra na equação (Lima, 2010):

$$\text{TSD (mg/L)} = \text{RS (mg/L)} + \text{HCO}_3^- \times 0.5083$$

A Figura 4.19. mostra a distribuição dos valores de TSD nas amostras de águas subterrâneas analisadas. Globalmente, trata-se de águas muito mineralizadas, com um valor mínimo de 355.5 mg/L, relativo à amostra Mp15 e um valor máximo de 4210.3 mg/L, correspondente à Mp14. O valor médio é de 1143.2 mg/L, para o qual concorrem os valores excepcionalmente elevados das amostras Mp4 e Mp14 (Figura 4.19).

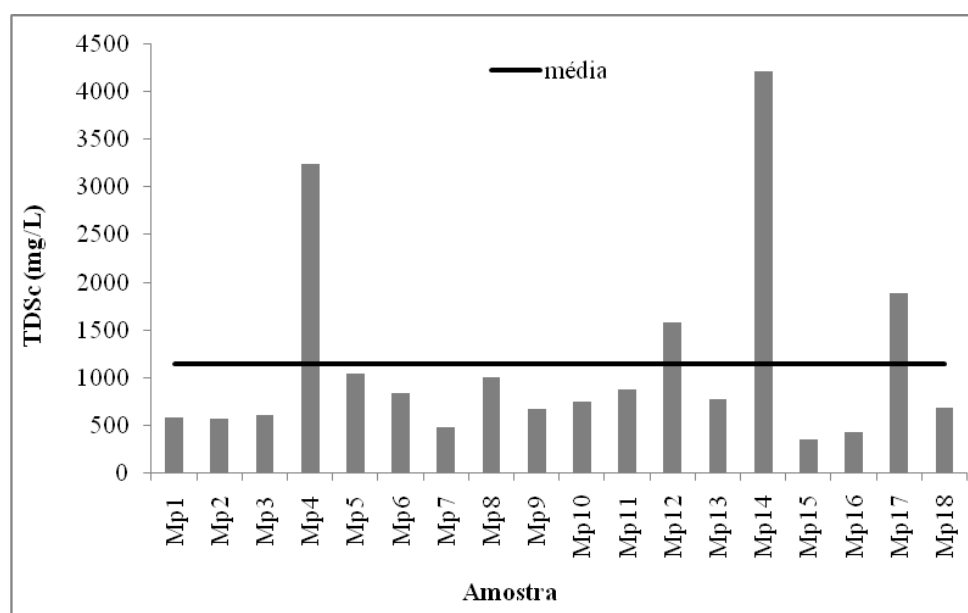


Figura 4.19. Concentração dos Totais de Sólidos Dissolvidos calculados (TDS_c) nas amostras de água colhidas na ilha do Maio

4.3.2.2. Componente maioritária

A componente maioritária das águas subterrâneas compreende usualmente os seguintes parâmetros: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, bicarbonato, sulfato, nitrato e sílica. No presente estudo iremos incluir também, além dos parâmetros antes mencionados, o carbonato e o nitrito.

Na Figura 4.20 apresentam-se os dados relativos aos catiões que constituem a componente maioritária das águas em estudo. O sódio é invariavelmente o catião dominante, seguindo-se o magnésio, o cálcio e, por último, o potássio com concentrações muito inferiores às dos restantes. As amostras Mp14 e Mp4 destacam-se por possuírem os teores mais elevados dos diferentes constituintes catiónicos. Particular destaque merece a amostra Mp14, onde o sódio atinge um teor excepcionalmente elevado (48.74 meq/L), sendo mais de duas vezes superior ao da segunda amostra mais mineralizada neste elemento (23.41 meq/L).

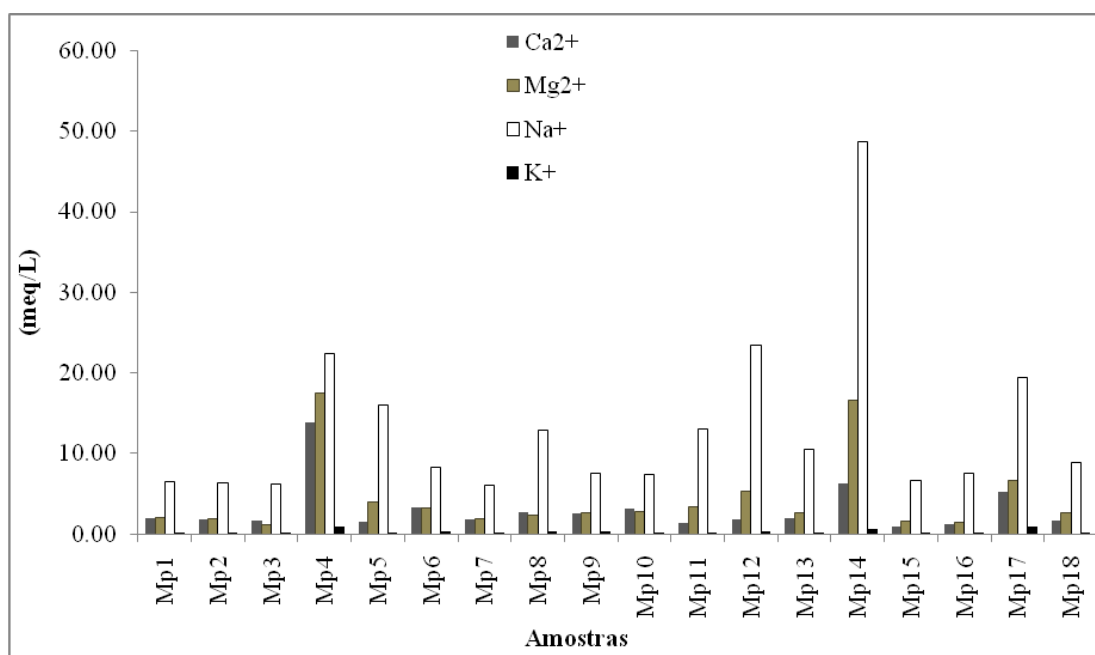


Figura 4.20. Concentrações dos catiões nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.

Efectuando um tratamento estatístico simples aos dados dos parâmetros referidos (Quadro 4.2), verifica-se que tanto nas medidas de tendência central como nas medidas de dispersão, o sódio ocupa o primeiro lugar. Contudo, quando se compara a dispersão relativa dos dados (coeficiente de variação) o sódio é o que apresenta menor valor.

Quadro 4.2. Estatística descritiva dos valores dos catiões das amostras de águas na ilha do Maio (Valores em meq/L).

Catiões	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. Padrão	C. Variação
Ca ²⁺	0.99	13.93	3.06	1.92	3.04	0.99
Mg ²⁺	1.14	17.45	4.41	2.67	4.78	1.09
Na ⁺	6.01	48.74	13.2	8.59	10.51	0.8
K ⁺	0.12	0.95	0.32	0.21	0.26	0.82

As concentrações de cloreto, bicarbonato, sulfato e nitrato apresentam-se graficamente na Figura 4.21. O cloreto surge como anião dominante em 10 amostras, atingindo concentrações anormalmente elevadas nas amostras dos pontos Mp14 e Mp4 e, em menor escala, nos pontos Mp17 e Mp12. Nos dois primeiros casos, os teores são superiores a 40 meq/L, atingindo 65.53 meq/L em Mp14; Mp17 e Mp12 apresentam concentrações de 23.33 meq/L e 17.46 meq/L, respectivamente. Nas restantes 14 amostras os teores de cloreto são inferiores a 10 meq/L. Em 8 amostras, o bicarbonato é o anião dominante, mas as suas concentrações máximas são muito inferiores às de cloreto das amostras mais mineralizadas. De facto, a concentração máxima de bicarbonato ocorre na amostra Mp11 com um teor de 9.29 meq/L.

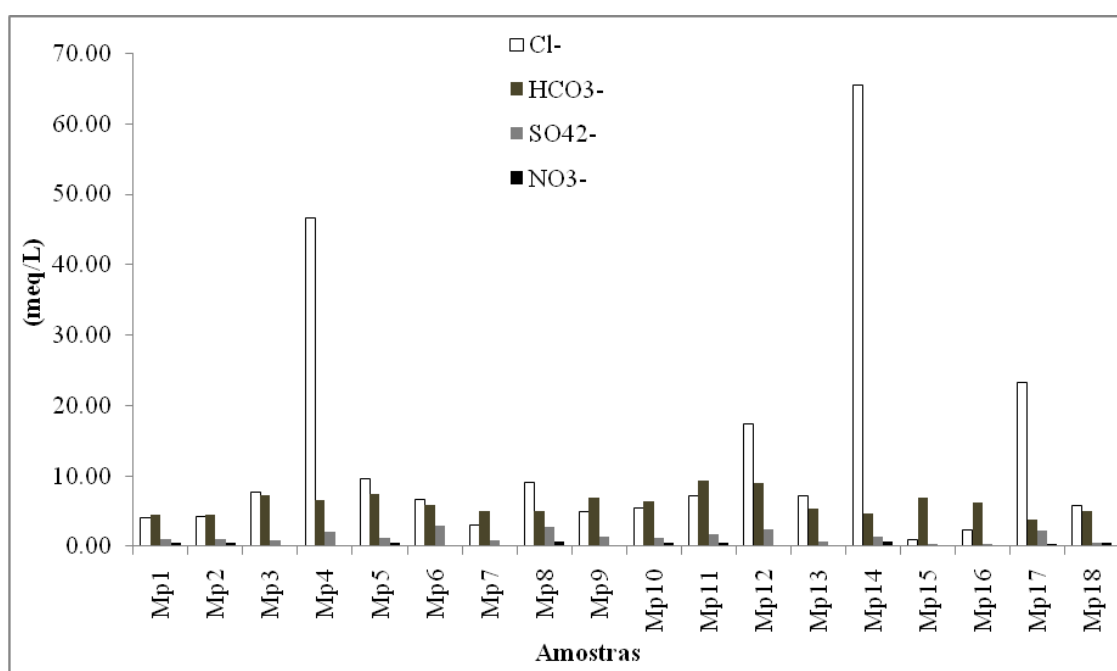


Figura 4.21. Concentrações dos aniões nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.

O sulfato surge como o terceiro mineralizador aniónico das amostras em estudo, embora com concentrações muito inferiores às do cloreto e do bicarbonato. Não é o anião dominante em nenhuma das amostras estudadas. Finalmente, o nitrato apresenta concentrações ainda mais baixas que o sulfato e, devido ao efeito de escala tem uma expressão gráfica quase imperceptível (Figura 4.21).

No Quadro 4.3 apresenta-se uma síntese estatística das concentrações dos quatro aniões referidos nas amostras analisadas. Em termos valores médios o cloreto sobressai significativamente em relação aos restantes aniões. Porém, esta supremacia é influenciada essencialmente pelas concentrações relativas aos pontos Mp14 e Mp4. De facto, o valor mediano de cloreto não é muito superior ao teor mediano de bicarbonato. Aliás, a grande amplitude dos teores de cloreto nas amostras analisadas traduz-se num elevado coeficiente de variação

Quadro 4.3. Estatística descritiva dos valores dos aniões das amostras de águas na ilha do Maio (Valores em meq/L).

Aniões	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. Padrão	C. Variação
Cl ⁻	0.87	65.53	12.84	6.91	16.93	1.32
HCO ₃ ⁻	3.75	9.29	6.09	6.11	1.51	0.25
SO ₄ ²⁻	0.27	2.90	1.37	1.19	0.82	0.60
NO ₃ ⁻	0.00	0.73	0.33	0.32	0.22	0.67

Embora surgindo em baixas concentrações, o carbonato e o nitrito são incluídos na componente maioritária das águas em estudo (Figura 4.22). Devido ao pH destas águas, o carbonato surge apenas na amostra Mp16 com uma concentração de 0.37 meq/L. pelo contrário, o nitrito está apenas virtualmente ausente em 5 amostras. Nas restantes, surge em concentrações que variam entre 0.01 meq/L e 0.9 meq/L. Este valor máximo constitui um caso excepcional no contexto das águas analisadas e corresponde à água do ponto Mp4. Como se viu anteriormente, o potencial redox desta água (-94 mV) é também uma situação excepcional e explica o teor elevado de nitrito. De facto, o carácter redutor desta água proporciona a ocorrência de espécies reduzidas de azoto, como o nitrito. Repare-se que a concentração de nitrato nesta água, não obstante a sua elevada mineralização, é relativamente baixa (0.14 meq/L)

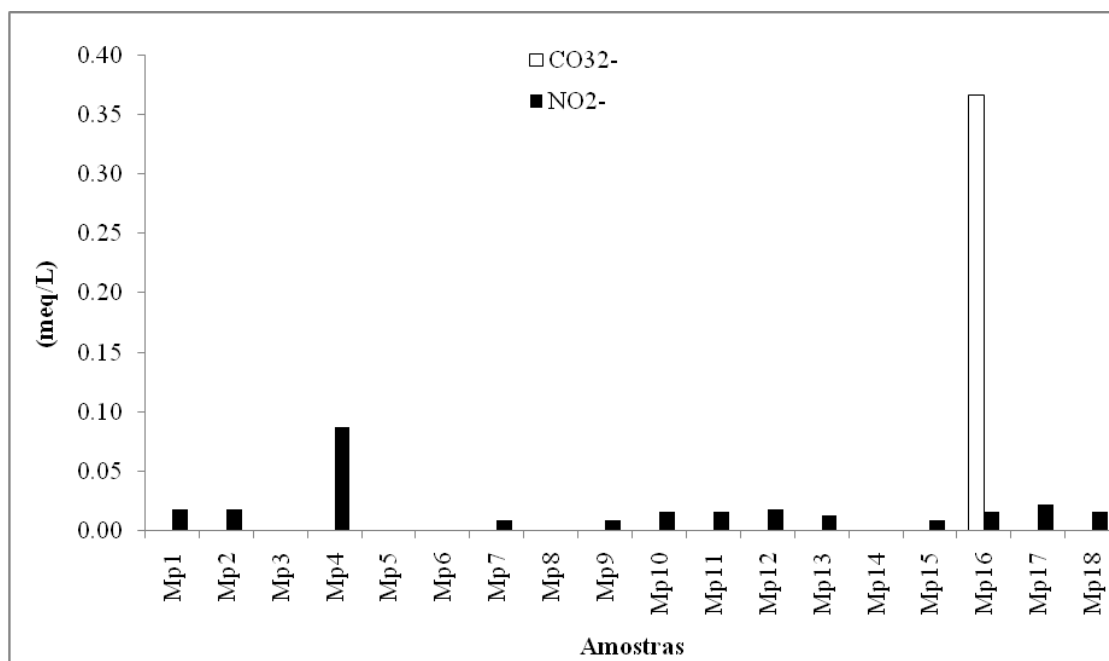


Figura 4.22. Concentrações de CO_3^{2-} e NO_2^- nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.

A mineralização das águas subterrâneas em estudo é essencialmente controlada pelo ião cloreto, o que atesta a influência directa ou indirecta da água do mar no processo de aquisição de sais das referidas águas subterrâneas. Como se observa na Figura 4.23, a correlação existente entre a condutividade eléctrica das águas e o teor de cloreto é bastante significativa e traduz-se por uma equação de regressão com uma inclinação um pouco inferior à média das águas oceânicas.

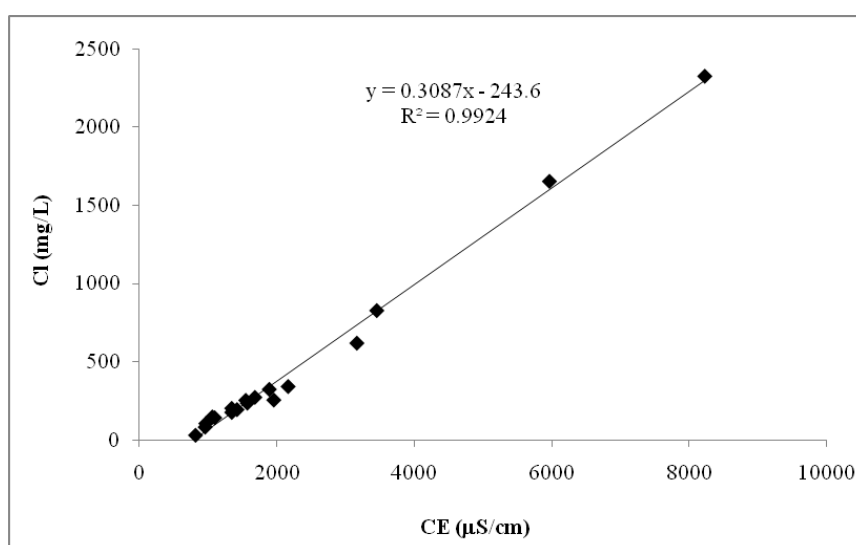


Figura 4.23. Diagrama de dispersão da concentração do cloreto em função da condutividade eléctrica das amostras em estudo.

Este facto sugere que além da influência marinha, a mineralização das águas subterrâneas é obtida também por outros processos, nomeadamente a interacção água/rocha.

Nas águas subterrâneas, a sílica (SiO_2) surge essencialmente combinada com duas moléculas de água, dando origem à espécie H_4SiO_4 . Tratando-se de um ácido, esta espécie pode dissociar-se e originar outras espécies, como H_3SiO_4^- e $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$. Em condições de pH neutras e ácidas, a sílica surge quase exclusivamente sob a espécie neutra H_4SiO_4 , já que o equilíbrio relativo à primeira dissociação ocorre para um pH de 9.82 (Langmuir, 1997). Considerando o pH médio (7.82) das águas subterrâneas em estudo, pode dizer-se que praticamente toda a sílica está sob a espécie neutra, dado que a concentração das espécies iónicas é inferior a 1%.

A Figura 4.24 sintetiza os valores referentes à sílica das amostras de águas subterrâneas da ilha do Maio. O valor mais elevado corresponde à amostra Mp1 (49.84 mg/L), sendo o valor mínimo de 27.17 mg/L (Mp16). A média do conjunto das amostras analisadas é de 38.01 mg/L.

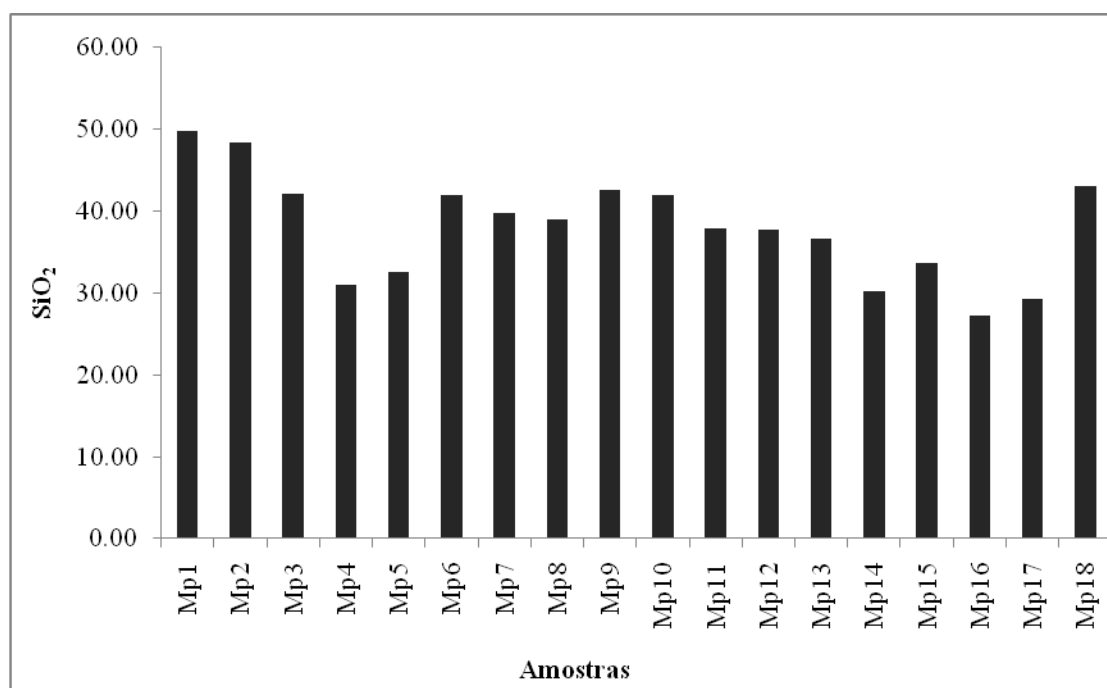


Figura 4.24. Distribuição da sílica nas amostras de água colhidas na ilha do Maio.

4.3.2.3. Componente vestigial

Além da análise aos constituintes maiores das águas, foram também efectuadas determinações dos constituintes menores e vestigiais indicados no Quadro 4.4, onde também se apresentam os respectivos limites de detecção. A pesquisa efectuada a alguns destes elementos não permitiu a sua detecção e/ou a sua quantificação na maioria das amostras, pelo que, serão considerados apenas os elementos que registaram teores mensuráveis na quase totalidade das amostras analisadas.

Quadro 4.4. Elementos químicos apresentados nas amostras de água e os seus respectivos limites de detecção (valores em µg/L).

Elemento	L.D.	Elemento	L.D	Elemento	L.D	Elemento	L.D
Ba	20	Ti	10	Br	3	Tm	0.001
Al	0.1	Tl	10	Rb	0.005	Yb	0.001
K	0.1	U	0.05	Sr	0.04	Lu	0.001
Mg	0.1	V	10	Y	0.003	Hf	0.001
Mn	0.01	W	10	Zr	0.01	Ta	0.001
Si	0.1	Y	10	Nb	0.005	W	0.02
Ag	5	Zn	5	Mo	0.1	Re	0.001
As	30	Na	5	Ru	0.01	Os	0.002
Be	2	Li	1	Pd	0.01	Pt	0.3
Bi	20	Be	0.1	Ag	0.2	Au	0.002
Ca	0.1	Mg	1	Cd	0.01	Hg	0.2
Cd	2	Al	2	In	0.001	Tl	0.001
Ce	30	Si	200	Sn	0.1	Pb	0.01
Co	2	K	30	Sb	0.01	Bi	0.3
Cr	20	Ca	700	Te	0.1	Th	0.001
Fe	0.01	Sc	1	I	1	U	0.001
Cu	2	Ti	0.1	Cs	0.001	Sr	10
Li	0.05	V	0.1	Ba	0.1	Te	10
Mo	5	Cr	0.5	La	0.001	As	0.03
Na	0.1	Mn	0.1	Ce	0.001	Se	0.2
Ni	5	Fe	10	Pr	0.001	Ho	0.001
P	0.02	Co	0.005	Nd	0.001	Er	0.001
Pb	10	Ni	0.3	Sm	0.001	Se	20
Sb	10	Cu	0.2	Eu	0.001	Sn	10
S	1	Zn	0.5	Gd	0.001	Dy	0.001
Ge	0.01	Ga	0.01	Tb	0.001		

No Quadro 4.5 apresenta-se uma síntese estatística dos teores dos elementos antes referidos nas águas subterrâneas da ilha do Maio.

Quadro 4.5. Parâmetros estatísticos relativos a alguns elementos vestigiais (Valores em $\mu\text{g/L}$)

Elemento	Mínimo	Máximo	Média	D. P.	C. V.
Estrôncio (Sr)	270	6300	1221.1	1588.7	1.300988
Vanádio (V)	<0.1	90	30.329	20.421	0.673313
Alumínio (Al)	4	34	15.278	8.4492	0.553038
Escândio (Sc)	4	6.0	5	0.686	0.137199
Titânio (Ti)	2.7	5.40	3.6778	0.6274	0.170584
Manganês (Mn)	0.5	2420	140.33	569	4.054817
Níquel (Ni)	0.3	12.20	1.3833	2.7421	1.982242
Cobre (Cu)	<0.2	17.60	4.0765	4.9877	1.223528
Zinco (Zn)	1.8	49.20	10.1	10.985	1.087594
Arsênio (As)	< 0.03	3.53	0.9871	0.7229	0.732378
Selênio (Se)	2.8	26.80	9.1556	6.1464	0.671327
Bromo (Br)	370	13300	2433.3	3241.4	1.332131
Rubídio (Rb)	0.54	17.40	3.7988	3.9417	1.037596
Ítrio (Y)	0.011	0.06	0.0355	0.0149	0.419737
Molibdênio (Mo)	0.9	17.40	6.5667	4.9981	0.761135
Iodo (I)	30	104	66.889	21.557	0.322277
Bário (Ba)	0.7	382	59.983	97.599	1.627102
Lantânio (La)	0.008	0.09	0.0348	0.0216	0.621383
Cério (Ce)	0.016	0.19	0.0831	0.0489	0.588229
Praseodímio (Pr)	0.002	0.02	0.0087	0.0053	0.608966
Neodímio (Nd)	0.008	0.08	0.0356	0.021	0.591626
Samário (Sm)	0.001	0.02	0.0076	0.0053	0.696247
Európio (Eu)	<0.001	0.02	0.0047	0.0042	0.897686
Gadolínio (Gd)	0.002	0.02	0.0071	0.0042	0.594451
Chumbo (Pb)	0.05	0.93	0.2444	0.2124	0.868972
Urânio (U)	0.113	1.78	0.7134	0.4426	0.620374

Como se observa no Quadro 4.5, o Bromo (Br) é o elemento vestigial mais abundante nas águas em estudo, atingindo um valor de máximo de 13300 $\mu\text{g/L}$ e uma média de 2433.3 $\mu\text{g/L}$. O segundo elemento mais abundante nas águas é o Estrôncio (Sr), com um

valor máximo de 6300 $\mu\text{g/L}$, e com uma média de 1221.1 $\mu\text{g/L}$. Segue-se o Manganês (Mn) com um valor máximo de 2420 $\mu\text{g/L}$, apresentando uma média de 140.33 $\mu\text{g/L}$

O elemento vestigial que apresenta menor abundância nas águas analisadas é o Európio (Eu), apresentando um valor mínimo inferior a 0.001 $\mu\text{g/L}$ e uma média de 0.0047 $\mu\text{g/L}$. Segue-se o Samário (Sm) com um valor mínimo de 0.001 $\mu\text{g/L}$. De seguida está o Gadolínio (Ga) e o Praseodímio (Pr), ambos com um valor mínimo de 0.002 $\mu\text{g/L}$.

Na Figura 4.25 apresentam-se as concentrações médias dos diferentes elementos vestigiais, ordenados por ordem decrescente de concentração. Adoptou-se uma escala logarítmica para dar expressão gráfica aos elementos que surgem em menores concentrações.

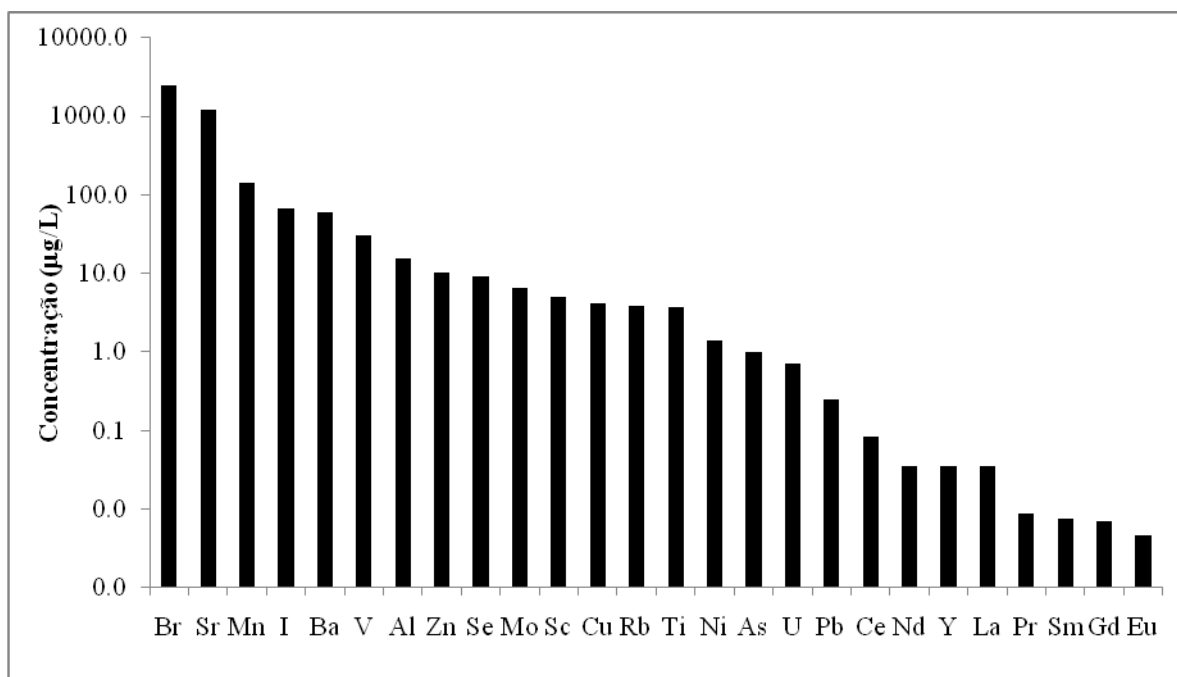


Figura 4.25. Concentração média dos elementos vestigiais nas amostras em estudo.

4.3.3 Fácies hidrogeoquímicas

A projecção de parâmetros químicos das águas em diagrama de Piper permite fazer a caracterização das fácies hidroquímicas, sendo também importante para detectar a mistura de águas, precipitações, dissoluções, modificações, entre outros (Custódio e Llamas, 1983). Este diagrama é constituído por dois triângulos e um losango. Uma

análise é representada por meio de três pontos: um no triângulo catiónico, outro no triângulo aniónico e o terceiro no diagrama em losango.

A Figura 4.26 representa a projecção dos dados das amostras de águas subterrâneas recolhidas na ilha do Maio. Em termos catiónicos, as águas subterrâneas em estudo podem ser classificadas como sódicas, embora a amostra Mp4 se afaste um pouco do pólo sódico-potássio. No que respeita aos aniões, é maior a dispersão de dados, estando essencialmente distribuídos entre os pólos cloretado e bicarbonatado. A maioria das amostras pode ser considerada cloretada-bicarbonatada sódica.

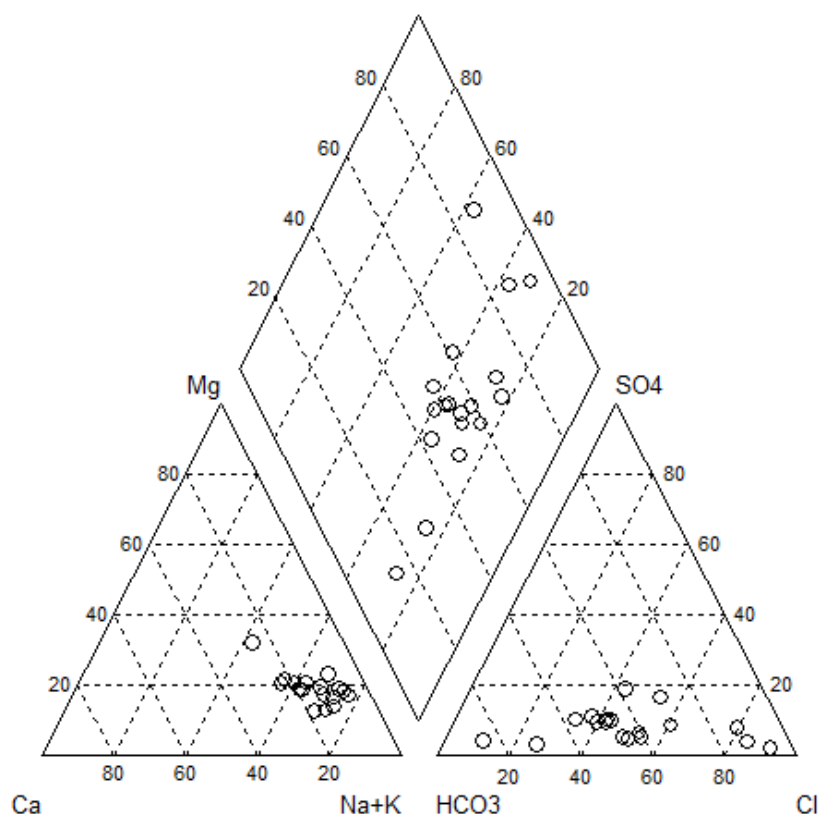


Figura 4.26. Diagrama de Piper das amostras em estudo

Na Figura 4.27 apresenta-se a projecção da composição química das águas subterrâneas em estudo no diagrama de Schöeller-Berkaloff. Em relação ao de Piper, a vantagem deste diagrama reside no facto de incluir todos os parâmetros desejados e exprimir as concentrações absolutas, fornecendo uma perspectiva mais rigorosa sobre o quimismo da água (Lima, 2010). Embora se verifique uma elevada dispersão, as águas subterrâneas estudadas definem padrões gráficos idênticos, sobressaindo as concentrações

relativas ao cloreto e ao sódio. A amostra do ponto Mp15 afasta-se um pouco da tendência geral, por apresentar um teor de cloreto relativamente baixo. Aliás, esta amostra é a que apresenta menor concentração em quase todos os constituintes da componente maioritária das águas.

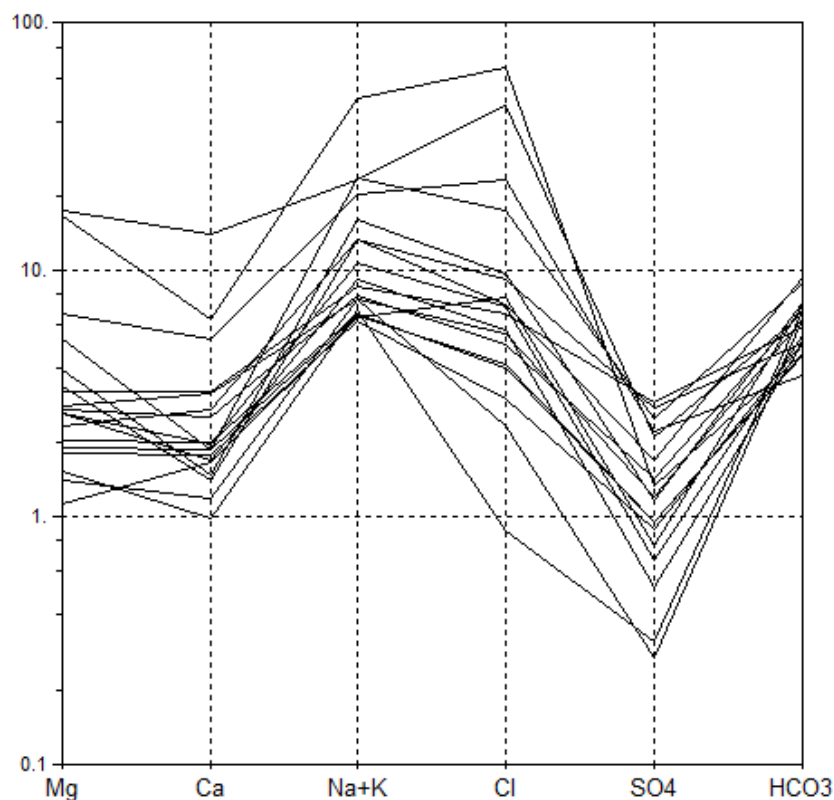


Figura 4.27. Diagrama de Schöeller-Berkaloff das amostras em estudo.

4.3.4 Qualidade da água

O conceito de qualidade da água deve ser encarado numa perspectiva da sua utilização. Assim, as exigências de uma água para consumo humano serão distintas dos requisitos das águas para uso industrial ou para rega.

4.3.4.1. Qualidade da água para consumo humano

A qualidade da água para consumo humano é determinada em documentos legais elaborados, tanto a nível nacional como internacional. Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo

humano. Neste diploma legal são fixados valores paramétricos, ou seja, valores máximos ou mínimos fixados para cada um dos parâmetros a controlar. Decorrendo da transposição de uma directiva da Comunidade Europeia, o referido decreto-lei constitui uma boa base para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas da ilha do Maio em relação à sua utilização no consumo humano. No Quadro 4.6 apresentam-se alguns parâmetros e respectivos valores paramétricos e indicam-se os valores máximos registados nas amostras analisadas e, ainda, as amostras que ultrapassam os valores paramétricos.

Quadro 4.6. Avaliação da adequação das águas subterrâneas em estudo ao consumo humano, de acordo com o Decreto – Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. C.E. - Condutividade de Eléctrica; V.P. - Valor Paramétrico. Am – amostras. * Embora não esteja fixado um valor paramétrico, não é desejável ultrapassar o valor referido.

Parâmetro	Unidade	V. P.	Máximo	Am > V. P.
pH	-	≥ 6.5 e ≤ 9	9.05	Mp17
C.E.	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2500	8230	Mp4, 12, 14, 17
Cl^-	mg/L	250	2323	Mp3, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 17
SO_4^{2-}	mg/L	250	139	-
NO_3^-	mg/L	50	45	-
NO_2^-	mg/L	0.5	4.00	Mp1, 2, 4, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18
Mg^{2+}	mg/L	50*	212	Mp4, 12, 14, 17
Na^+	mg/L	200	1120	Mp4, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18
Ca^{2+}	mg/L	100*	279	Mp4, 14, 17
F ⁻	mg/L	1.5	0.8	-
Cu	mg/L	2.0	17.6	Mp2, 4, 5, 12, 14, 17
Mn	$\mu\text{g}/\text{L}$	50	2420	Mp4
Ni	$\mu\text{g}/\text{L}$	20	12.2	-
Al	$\mu\text{g}/\text{L}$	200	34	-
As	$\mu\text{g}/\text{L}$	10	3.53	-
Se	$\mu\text{g}/\text{L}$	10	26.8	Mp4, 5, 8, 10, 14, 17, 18
Pb	$\mu\text{g}/\text{L}$	10	0.93	-
Fe	$\mu\text{g}/\text{L}$	200	210	Mp4
Sb	$\mu\text{g}/\text{L}$	5.0	0.09	-
Cd	$\mu\text{g}/\text{L}$	5.0	0.07	-
Cr	$\mu\text{g}/\text{L}$	50	2.3	-
Hg	$\mu\text{g}/\text{L}$	1	<0.2	-

No que diz respeito ao pH, pode-se dizer que apenas uma amostra (Mp17) não respeita o valor paramétrico, embora a diferença seja muito pouco significativa. Por isso, poderá dizer-se que, em relação a este parâmetro, as águas subterrâneas da ilha do Maio são adequadas ao consumo humano.

Segundo o mesmo decreto-lei, os valores de condutividade eléctrica não devem exceder os 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que não se verifica em algumas águas subterrâneas em estudo, atingindo-se um valor máximo de 7730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na amostra Mp14. As quatro amostras que ultrapassam o valor paramétrico representam 22% do conjunto das amostras analisadas; as restantes 78% apresentam valores inferiores ao limite máximo imposto (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

O cloreto apresenta um valor máximo de 2323 mg/L na amostra Mp14. Em relação ao seu valor paramétrico (250 mg/L), verifica-se que 50% das amostras situam-se abaixo deste valor e outras tantas acima.

Relativamente ao sulfato, nitrato, fluoreto, níquel, alumínio, arsénio, chumbo, antimónio, cádmio, crómio, e mercúrio os resultados analíticos mostram que os teores em todas as amostras de água são inferiores aos respectivos valores paramétricos.

O nitrito é o parâmetro em que ocorre maior incumprimento da legislação referida, já que mais de metade das amostras (56%) ultrapassam o valor paramétrico de 0.5 mg/L. A situação mais crítica ocorre na amostra relativa ao ponto Mp4, onde se atinge uma concentração de 4.00 mg/L, ou seja, oito vezes superior ao limite legal. Como se referiu oportunamente, esta situação pode ser explicada pelo fenómeno de eutrofização que provoca a diminuição do potencial redox da água, favorecendo a desnitrificação, com o subsequente aumento de espécies reduzidas de azoto, em detrimento da espécie mais oxidada (NO_3^-).

O Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto não estabelece um valor paramétrico para o magnésio advertindo, no entanto, que não é desejável que a sua concentração ultrapasse 50 mg/L. Assim, existem quatro amostras que não satisfazem esta condição, atingindo uma concentração de 212 mg/L na amostra Mp4.

Em relação ao sódio, verifica-se que 50% das amostras em estudo apresentam valores acima do valor paramétrico (200 mg/L), apresentando um valor máximo de 1120 mg/L na amostra Mp14. Não obstante a elevada mineralização em sódio das águas subterrâneas da ilha do Maio, o valor máximo registado é excepcionalmente elevado, até porque o valor imediatamente a seguir (538 mg/L) é substancialmente mais baixo.

Á semelhança do magnésio também não está definido um valor paramétrico para o cálcio, sendo aconselhável que os teores nas águas de consumo não ultrapassem 100 mg/L. a maioria das águas subterrâneas da ilha do Maio está abaixo deste limite, sendo que

apenas 3 amostras apresentam teores acima de 100mg/L, atingindo mesmo 279 mg/L na amostra Mp4.

O cobre apresenta um valor máximo de 17.6 mg/L, correspondendo a um valor muito superior valor paramétrico (2.0 mg/L). No entanto, 67% das amostras em estudo apresentam valores dentro do parâmetro recomendado.

O valor paramétrico de manganês (50 µg/L) é apenas ultrapassado na amostra Mp4, a qual possui um teor de 2420 µg/L. nas restantes amostras as concentrações são relativamente baixas, à exceção da amostra Mp17, que apresenta uma concentração de 39.2 µg/L.

O selênio apresenta, em 39% das amostras analisadas, valores superiores ao respectivo valor parâmetro (10 µg/L). O teor máximo (26.8 µg/L) pertence à amostra Mp14.

Apesar do ferro não ter sido incluído na componente vestigiária das amostras de água analisadas, considera-se importante utilizá-lo na avaliação da qualidade das águas para o consumo humano, uma vez que a amostra Mp4 apresenta uma concentração de 210 µg/L, a qual é superior ao valor paramétrico (200 µg/L).

Analisando os parâmetros que tornam algumas águas subterrâneas em estudo impróprias para o consumo humano, verifica-se que o nitrito é o principal responsável por este fenómeno, já que o valor paramétrico é ultrapassado em dez amostras, ou seja, em 55% do conjunto considerado (Figura 4.28).

O cloreto e o sódio, ambos de origem predominantemente marinha são responsáveis pela falta de potabilidade em 50% das águas analisadas.

Os teores de selênio tornam as águas impróprias para o consumo em 7 amostras, o que corresponde a quase 40%.

O cobre é também responsável pela falta de qualidade da água em 6 amostras (cerca de 30%). Não obstante as águas apresentarem características alcalinas, condições pouco favoráveis a mobilidade do cobre (Reimann e Caritat, 1998), os teores registados em algumas amostras não são alheios à influência das formações geológicas. De facto, ocorrendo em silicatos ferromagnesianos presentes em rochas básicas como o basalto, o cobre detectado nas águas subterrâneas pode ter origem a alteração destas rochas.

A mineralização global das águas, avaliada pela condutividade eléctrica das mesmas, torna também algumas águas subterrâneas inadequadas para o consumo humano, como acontece em quatro das amostras analisadas.

O magnésio, embora não constitua um critério rígido de avaliação da qualidade das águas para o consumo humano, faz com que quatro amostras não sejam desejáveis para este fim. Situação análoga ocorre em relação ao cálcio mas, neste caso, o número de águas não desejáveis é mais reduzido (3).

O pH, o manganês e o ferro tornam imprópria uma amostra de água. Tal acontece, em relação ao pH, na amostra Mp17 e, em relação ao manganês e ao ferro na amostra Mp4.

Relativamente aos restantes parâmetros incluídos na Figura 4.28, os teores detectados nas águas subterrâneas analisadas não são restritivos no que respeita à sua utilização no consumo humano.

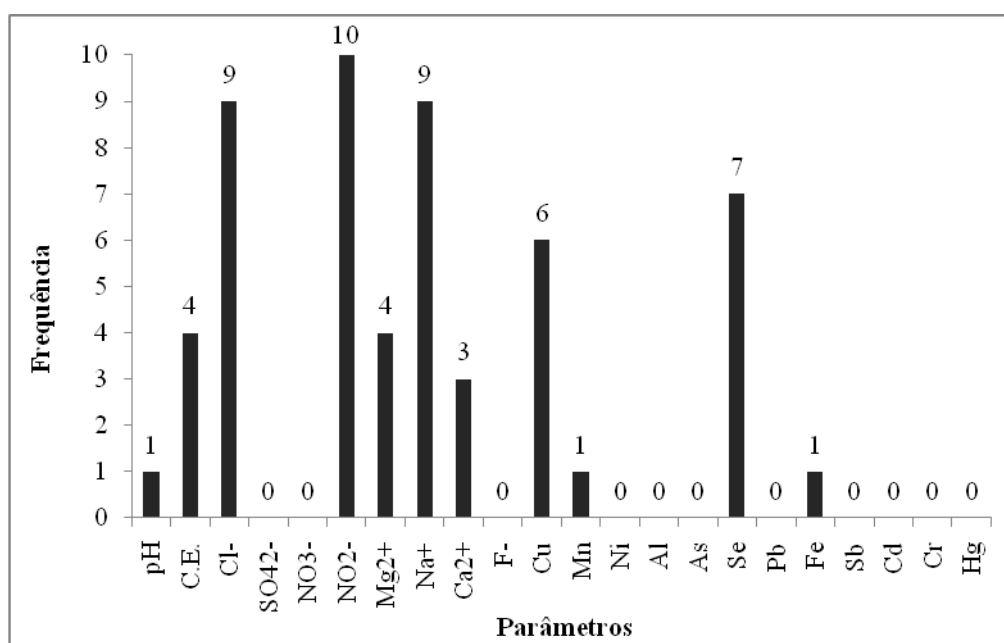


Figura 4.28. Número de amostras que ultrapassam os valores paramétricos definidos no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.

Entre as águas subterrâneas em estudo, a amostra relativa ao ponto Mp4 é a que apresenta o maior incumprimento nos critérios de avaliação da água para o consumo humano. De facto, esta amostra ultrapassa os valores paramétricos em dez dos parâmetros considerados (Quadro 4.6).

A amostra Mp17 (Figura 4.29) ultrapassa os limites legais em nove parâmetros, seguindo-se as amostras Mp14 e Mp12, que ultrapassam os valores paramétricos em sete e seis parâmetros, respectivamente.

A amostra relativamente ao ponto Mp5 não cumpre os valores paramétricos em quatro dos vinte e dois parâmetros considerados.

Ultrapassam os limites legais em três parâmetros, as amostras Mp8, Mp11, Mp13 e Mp18.

As amostras Mp2 e Mp10 excedem os valores paramétricos em dois parâmetros.

Com apenas incumprimento em um parâmetro estão as amostra Mp1, Mp3 e Mp16.

Finalmente, as amostras relativas aos pontos Mp6, Mp7, Mp9 e Mp15, cumprem integralmente os critérios de âmbito físico-químicos utilizados na avaliação da qualidade das águas subterrâneas da ilha do Maio no que respeita à sua eventual utilização para o consumo humano.

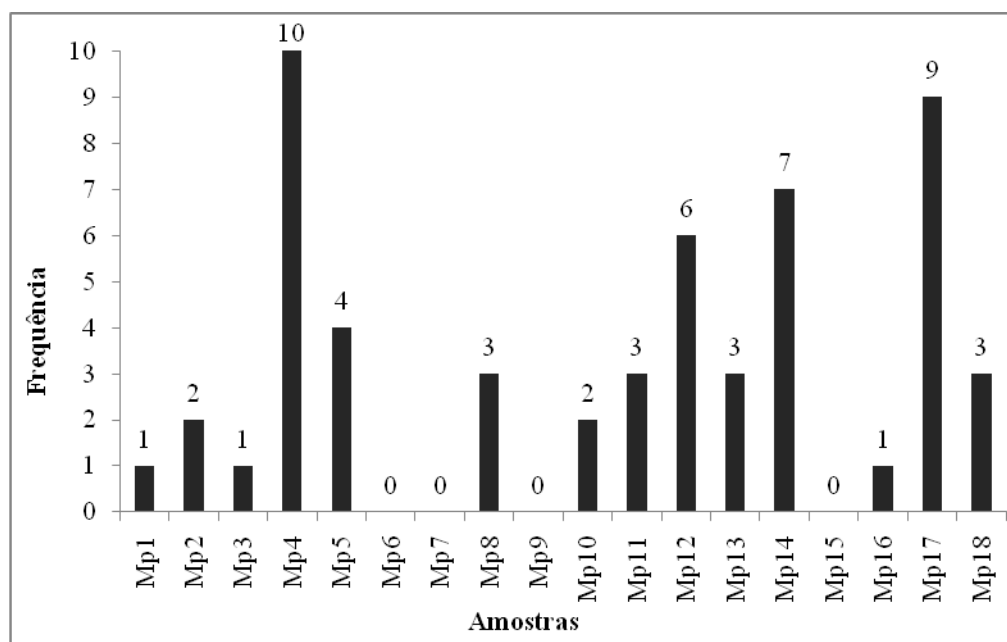


Figura 4.29. Número de parâmetros que excedem os valores paramétricos em cada uma das amostras incluídas no presente estudo.

Em síntese, a amostragem de águas subterrâneas levado a cabo na ilha do Maio permitiu avaliar a adequação das mesmas ao consumo humano. Admitindo que esta amostragem tem significado estatístico, poderá dizer-se que, a nível físico-químico, cerca

de 20% das águas subterrâneas são próprias para o consumo humano. Contudo, importa enfatizar a necessidade de avaliar a qualidade microbiológica destas águas, atendendo às deficientes condições de salubridade em que se encontram as captações de água subterrânea, à excepção dos furos visitados. Com efeito, como se referiu e ilustrou oportunamente, os poços de captação não possuem, na sua maioria, qualquer protecção, nem mesmo uma simples tampa. Constituem bons exemplos desta situação, os poços correspondentes aos pontos Mp3 (Figura 4.3), Mp4 (Figura 4.17) e Mp9 (Figura 4.4).

4.3.4.2. Qualidade da água para uso agrícola

Em relação à qualidade das águas para uso agrícola, os critérios de classificação dependem do tipo de planta, do volume de rega, da qualidade do solo e do clima local (Davis e De Wiest, 1971) Entre as várias classificações existentes, adopta-se a do “U. S. Salinity Laboratory Staff”, que utiliza as seguintes variáveis (Custódio e Llamas, 1983):

- concentração total de sólidos dissolvidos, expressa em termos de condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$);
- concentração de sódio relativamente ao cálcio e ao magnésio (taxa de absorção de sódio – TAS) definida pela expressão:

$$TAS = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$$

As concentrações dos diferentes constituintes devem ser expressas em meq/L. Os efeitos prejudiciais produzidos pelo sódio são, principalmente, a redução da permeabilidade e o aumento da dureza do solo. Estes efeitos derivam da troca de iões cálcio e magnésio com o sódio. A intensidade desta troca é avaliada pelo índice TAS.

O diagrama semilogarítmico da Figura 4.30 permite avaliar a qualidade das águas para o uso agrícola e os perigos inerentes à salinização e alcalinização dos solos.

Como se observa na Figura 4.30, os pontos representativos das amostras de águas subterrâneas distribuem-se por quatro sectores (C3S1, C3S2, C3S3 e C4S3) com o seguinte significado (Custódio e Llamas, 1983):

C3 – água altamente salina, com condutividade eléctrica entre 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondendo aproximadamente à gama de 480 mg/L e a 1440 mg/L de mineralização total. As águas incluídas nesta classe não podem ser utilizadas em solos com drenagem deficiente e as culturas terão de ser muito tolerante à salinidade;

C4 – água extremamente salina, com condutividade eléctrica superior a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, As águas com esta característica não são apropriadas para rega. No entanto, em solos muito permeáveis e com culturas extremamente tolerantes poderão ser utilizadas com precaução;

S1 – água com baixa concentração de sódio, podendo ser utilizada na maioria dos solos, visto que, por apresentam baixas possibilidades de atingir valores elevados de concentrações de sódio por troca iónica. No entanto, as culturas sensíveis podem armazenar quantidades prejudiciais de sódio;

S2 – água com concentração moderada de sódio podendo representar um perigo em solos de drenagem deficiente e de textura fina, com elevada capacidade de troca catiónica;

S3 – água com alta concentração de sódio, podendo atingir o limite de toxicidade por sódio em solos mal drenados.

No Quadro 4.7 apresenta-se uma síntese da qualidade das águas subterrâneas da ilha do Maio para uso agrícola, indicando-se para cada amostra o sector da Figura 4.30 em que se enquadra. As amostras Mp4 e Mp14 não estão incluídas, nem na Figura 4.30, nem no Quadro 4.7 pelo facto dos seus valores de condutividade eléctrica ultrapassarem o limite superior da escala do diagrama.

Quadro 4.7. Qualidade das águas em estudo para uso agrícola.

Amostras	Sectores
Mp1	C3S1
Mp2	C3S1
Mp3	C3S2
Mp4	-
Mp5	C3S3
Mp6	C3S2
Mp7	C3S1
Mp8	C3S2
Mp9	C3S1
Mp10	C3S1
Mp11	C3S2
Mp12	C4S3
Mp13	C3S2
Mp14	-
Mp15	C3S2
Mp16	C3S2
Mp17	C4S3
Mp18	C3S2

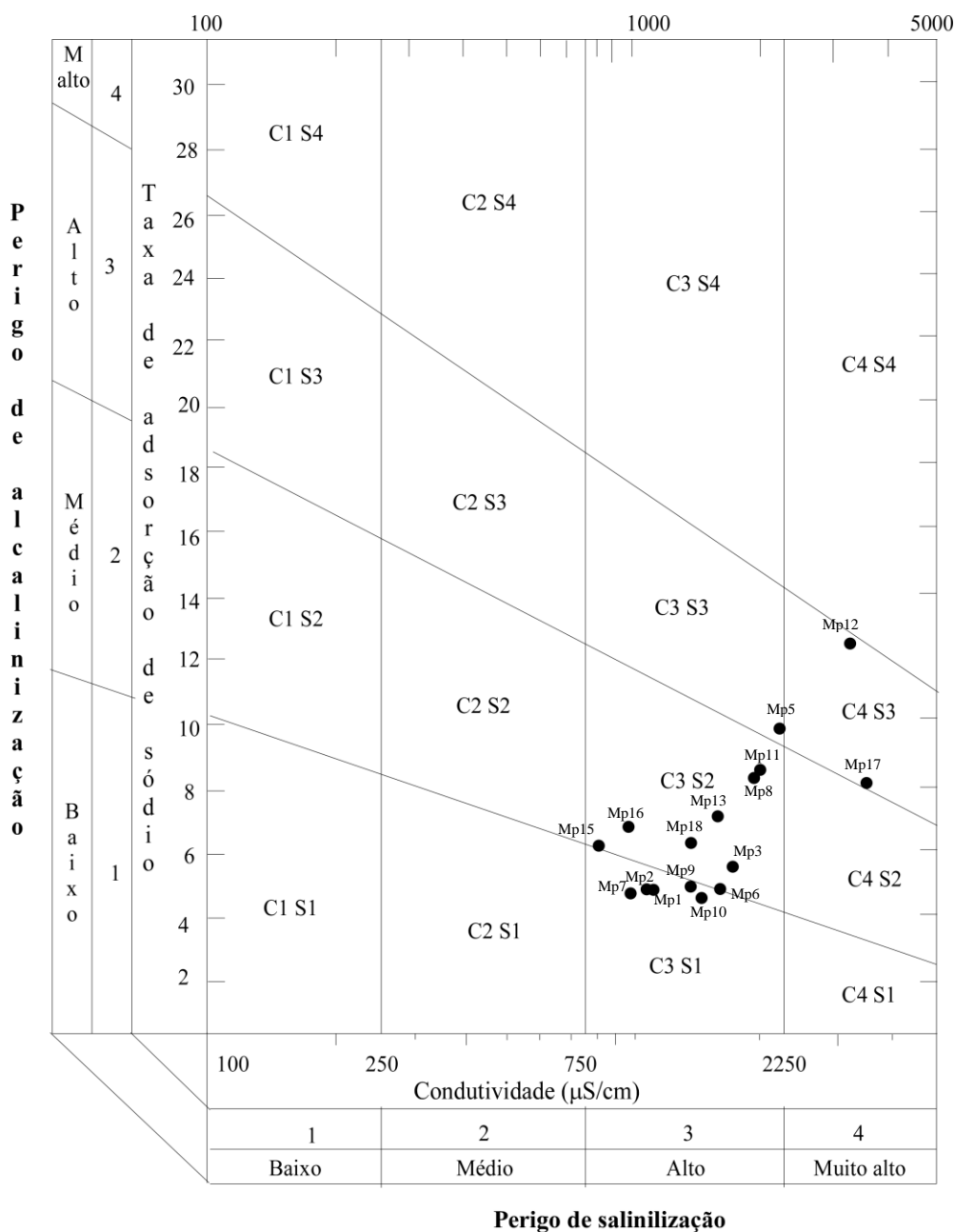


Figura 4.30. Qualidade química das águas para uso agrícola.

Contudo, pode dizer-se que o perigo de alcalinização das amostras Mp4 e Mp14 é baixo e médio, respectivamente. O perigo de salinização é, naturalmente, extremamente elevado.

Em síntese, conclui-se que as águas analisadas apresentam baixo a alto perigo de alcalinização do solo e alto a muito alto perigo de salinização.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A área suporte deste estudo hidrogeológico corresponde à ilha do Maio, uma das dez ilhas que compõem o Arquipélago de Cabo Verde. Apresenta um clima do tipo árido e semi-árido, manifestando duas estações distintas: Estação seca, de Dezembro a Junho, e Estação húmida, de Agosto a Outubro. Os meses de Julho e Novembro consideram-se de transição.

No contexto da geologia do arquipélago de Cabo Verde, a ilha do Maio destaca-se por ser a única a possuir, na porção emersa, as formações mais antigas, nomeadamente as lavas em almofada do Jurássico e as formações sedimentares mesozóicas. Por outro lado, no estado actual do conhecimento, é também a única ilha que não possui cones de piroclastos e escoadas pliocénico-quadernárias, conhecidos como Formação do Monte das Vacas na ilha de Santiago.

A ilha do Maio é constituída por dois tipos principais de formações (Serralheiro, 1970): (i) formações eruptivas ou ígneas e (ii) formações sedimentares. Por sua vez, as formações eruptivas são constituídas por rochas intrusivas e extrusivas. As rochas intrusivas estão associadas a três fases: Fase A, constituída por essexito; Fase B, constituída por sienitos feldspatóídicos e rochas afins e fase C, constituída por carbonatitos. Na categoria das rochas extrusivas incluem-se filões e mantos lávicos.

As formações sedimentares da ilha do Maio dispõem-se à volta do núcleo eruptivo e correspondem a quatro períodos distintos: rochas mesozóicas, rochas paleogénicas, rochas neogénicas e rochas Quaternárias.

Em relação à geomorfologia, o maciço central é o elemento orográfico dominante da ilha do Maio. Os relevos constituem ramos, formando uma cordilheira ligada ao monte Penoso, o mais alto da ilha, com 436 m de altitude.

Pelo método dos polígonos de Thiessen, a precipitação média anual da ilha do Maio foi estimada em 125.4 mm, embora o valor seja muito próximo do obtido por simples média aritmética (124.0 mm). Importa salientar que este valor não representa a verdadeira precipitação média sobre a ilha, já que não existem postos udométricos nas áreas mais montanhosas, nomeadamente no Monte Penoso. Repare-se que a estação localizada a maior altitude (Pedro Vaz) se situa a cota de 39 m. Desta forma, considera-se que a avaliação pluviométrica efectuada constitui uma estimativa por defeito.

A distribuição espacial da precipitação mostra que a precipitação máxima anual ocorre na zona do Monte Batalha, diminuindo em todos os sentidos, à medida que se caminha para o litoral. Chama-se, no entanto, a atenção para a inexistência de estações pluviométricas na área correspondente ao maciço central da ilha, nomeadamente no Monte Penoso, cujo ponto culminante possui a maior altitude da ilha. Pensa-se, por isso, que nestas áreas de cotas mais elevadas a precipitação média anual seja superior a 150 mm. Em síntese, poderá dizer-se que a área mais pluviosa da ilha é a correspondente ao maciço central, verificando-se uma diminuição acentuada para a periferia.

Em relação à distribuição intra-anual da precipitação nas diferentes estações da rede pluviométrica da ilha do Maio, constata-se que o mês de Setembro é o de maior precipitação. Isto verifica-se para todas as estações, com excepção de Praia Gonçalo, por apresentar maior precipitação em Agosto. De uma forma geral, a precipitação está concentrada nos meses de Agosto, Setembro e Outubro; pelo contrário, no período de Dezembro a Junho, a precipitação é praticamente nula. Os meses de Julho e Novembro registam alguma precipitação, podendo ser considerados meses de transição. A variabilidade pluviométrica interanual é muito significativa, ocorrendo com bastante frequência anos secos e anos muito secos.

Com base nos registos da estação climatológica da Calheta Monte Vermelho, verifica-se que a temperatura mínima varia, em média, entre 17.1 °C no mês de Março e 23.4 °C em Setembro. Por sua vez, os valores médios da temperatura máxima oscilam entre 26.1 °C em Janeiro e 31.0 °C em Setembro. Finalmente, os valores médios da temperatura média variam entre 22.4 °C em Março e 27.4 °C em Setembro, com uma média anual de 24,4 °C.

De acordo com o diagrama termopluiométrico, a evolução intra-anual da temperatura e da precipitação seguem um paralelismo, atingindo os valores mais elevados no mês de Setembro. Considerando o período seco como aquele em que o dobro da temperatura é superior ao valor da precipitação, verifica-se que o mesmo abrange praticamente todo o ano, à excepção do mês de Setembro.

A evapotranspiração potencial anual estimada pelo método de Thornthwaite é de 1564.8 mm, valor muito superior ao da precipitação média. Nestas condições, o balanço hídrico anual é negativo, não existindo quaisquer excedentes, pelo que toda a precipitação é convertida em evapotranspiração. De facto, aplicando o método de balanço hídrico

sequencial mensal à estação de Calheta Monte Vermelho, a evapotranspiração real anual é de 144.1 mm, ou seja, o equivalente à precipitação anual registada nesta estação.

Do exposto, importa focar que estes resultados não correspondem à realidade, uma vez que são conhecidas captações de água subterrânea doce, cuja proveniência terá de estar obrigatoriamente relacionada, directa ou indirectamente, com a precipitação. Desta forma, conclui-se que a periodicidade escolhida (mensal) não é adequada à realização de um balanço hídrico ao nível do solo, sendo necessário adoptar intervalos de tempo mais curtos. A aplicação de um modelo de balanço diário permitiu verificar que, em média 21.1% da precipitação constituem excedentes hídricos, dos quais cerca de um terço escorrem à superfície e os restantes dois terços infiltram-se em profundidade. Em relação à precipitação, o coeficiente de escoamento superficial é de 7% e a taxa de infiltração é de 14.1%.

A aplicação do método do balanço químico do ião cloreto conduziu à estimativa de um coeficiente de infiltração eficaz de 10.2%. Importa referir que este valor constitui uma média para a ilha do Maio, podendo as taxas de infiltração variar de local para local, em função das características dos eventos pluviosos e as características intrínsecas dos solos. O valor médio obtido (10.2%) é inferior ao estimado a partir da execução do balanço hídrico sequencial diário (14.1%). Desta forma, poderá dizer-se que, em média, a infiltração eficaz na ilha do Maio representa entre 10.2% e 14.1% da precipitação anual. Assim, em ano médio os recursos hídricos subterrâneos deverão situar-se entre 12.8 mm e 17.7 mm, a que correspondem volumes de $3.44 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $4.76 \times 10^6 \text{ m}^3$. Por sua vez, os recursos hídricos superficiais são estimados em $2.36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que daria, em termos de recursos hídricos totais, volumes compreendidos entre $5.80 \text{ m}^3/\text{ano}$ e $7.12 \text{ m}^3/\text{ano}$.

A população desta ilha beneficia destes recursos hídricos essencialmente através da canalização por rede pública, chafarizes e poços. Além disso, em algumas povoações, a água doce é obtida a partir da dessalinização da água do mar. Noutras, a água é fornecida a partir de autotanques. A maioria da população é beneficiada através de chafarizes, como é o caso das povoações de Pedro Vaz, Morro e Barreiro, onde esta forma de distribuição constitui cerca de 75% de todas as formas de abastecimento. Nas zonas de Ribeira Dão João e Praia Gonçalo há um maior número do uso de poços pelas populações locais chegando até mesmo ao uso total na localidade de Ribeira Dão João situada a sul da ilha. Não existindo aproveitamentos dos recursos hídricos superficiais, a população está limitada a uso de água subterrânea, havendo portanto um desperdício significativo de água doce

potencialmente disponível. Torna-se, por isso, necessário desenvolver estudos específicos conducentes à selecção de locais para a instalação de infra-estruturas hidráulicas de retenção do escoamento superficial.

No sentido de avaliar as características do escoamento subterrâneo e a qualidade das águas subterrâneas foram seleccionados 18 pontos de água, dos quais 14 são poços, 3 são furos e o restante corresponde a um charco. Os poços apresentam uma profundidade média da ordem dos 9.7 metros, tendo-se atingido uma profundidade máxima de 14.6 metros no ponto Mp1. Pelo contrário, a profundidade mais baixa é atingida no poço Mp5, num valor de 6.4 metros. Estes poços são utilizados essencialmente na agricultura e na pecuária. De um modo geral, os poços são escavados por meios artesanais, encontrando-se frequentemente sem qualquer revestimento. Além disso, não têm, na maioria dos casos, nenhuma protecção, encontrando-se directamente expostos às condições atmosféricas. Tratando-se quase na sua totalidade de captações privadas, estes poços são explorados sem qualquer controlo, o que conduziu a degradação da qualidade das suas águas, nomeadamente devido à intrusão salina. Ao contrário dos poços, os furos constituem boas captações de águas subterrâneas, encontrando-se relativamente bem protegidos e proporcionando, de um modo geral, águas de melhor qualidade.

O escoamento subterrâneo na ilha do Maio faz-se globalmente de um modo centrífugo a partir das elevações do maciço central. O gradiente hidráulico assume valores entre 0.05% e 2.9%, sendo que o valor mais baixo ocorre no sector norte da ilha o que favorece o fenómeno de intrusão salina, como atesta o carácter salobro da água do ponto Mp14.

Relativamente à qualidade da água, verifica-se que as amostras recolhidas correspondem a águas muito mineralizadas, com valores de condutividade eléctrica compreendidos entre 832 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 7730 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por sua vez, os valores de TDS estão compreendidos entre 705.8 mg/L e 4210.4 mg/L. Nestas condições, as águas subterrâneas analisadas podem ser consideradas águas salobras.

Na componente maioritária, o sódio é invariavelmente o catião dominante, seguindo-se o magnésio, o cálcio e, por último, o potássio com concentrações muito inferiores às dos restantes. As amostras Mp14 e Mp4 destacam-se por possuírem os teores mais elevados dos diferentes constituintes catiónicos. Particular destaque merece a amostra Mp14, onde o sódio atinge um teor excepcionalmente elevado (48.74 meq/L), sendo mais de duas vezes superior ao da segunda amostra mais mineralizada neste elemento (23.41 meq/L).

Em relação aos aniões pode se dizer que o cloreto surge como anião dominante em 10 amostras, atingindo concentrações anormalmente elevadas nas amostras dos pontos Mp14 e Mp4 e, em menor escala, nos pontos Mp17 e Mp12. Nos dois primeiros casos, os teores são superiores a 40 meq/L, atingindo 65.53 meq/L em Mp14; Mp17 e Mp12 apresentam concentrações de 23.33 meq/L e 17.46 meq/L, respectivamente. Nas restantes 14 amostras os teores de cloreto são inferiores a 10 meq/L. O nitrato apresenta uma concentração máxima de 0.73 meq/L.

Na componente vestigial, o elemento dominante é o bromo, seguindo-se o estrôncio e o manganês, todos com concentrações superiores a 100 µg/L.

A fácies hidroquímica dominante é a cloretada sódica, sendo que grande parte das amostras pode ser considerada cloretada-bicarbonatada sódica.

Entre as águas subterrâneas em estudo, a amostra relativa ao ponto Mp4 é a que apresenta o maior incumprimento nos critérios de avaliação da qualidade da água para o consumo humano. De facto, esta amostra ultrapassa os valores paramétricos em dez dos parâmetros considerados. Pelo contrário, as amostras relativas aos pontos Mp6, Mp7, Mp9 e Mp15 cumprem integralmente os critérios de qualidade de âmbito físico-químico para o consumo humano. Admitindo que a amostragem efectuada tem significado estatístico, poderá dizer-se que, a nível físico-químico, cerca de 20% das águas subterrâneas são próprias para o consumo humano. Contudo, importa enfatizar a necessidade de avaliar a qualidade microbiológica destas águas, atendendo às deficientes condições de salubridade em que se encontram as captações de água subterrânea, à excepção dos furos visitados.

No que respeita à utilização da água para rega, as águas analisadas apresentam baixo a alto perigo de alcalinização do solo e alto a muito alto perigo de salinização.

Em face do exposto, pode concluir-se que, não obstante o carácter árido da ilha do Maio, a mesma apresenta um potencial de recursos hídricos não negligenciável, eventualmente suficiente para suprir as necessidades hídricas da população. A avaliação quantitativa ora efectuada tem por base dados de qualidade duvidosa devendo, por isso ser encarada com reservas. Os modelos utilizados neste contexto mostram que as águas subterrâneas assumem um papel mais importante que as águas superficiais, embora ocorra uma variabilidade espacial relacionada essencialmente com as características dos solos. A exploração dos recursos hídricos subterrâneos tem sido feita através de poços de grande

diâmetro e, mais raramente, por meio de furos verticais. A generalidade das captações está situada preferencialmente em terrenos de cotas baixas, em alguns casos muito próximos de litoral. Desconhecem-se as características hidráulicas dos aquíferos explorados e não foram criadas as condições para a realização de ensaios adequados. Do mesmo modo não são conhecidas quaisquer infra-estruturas de aproveitamento dos recursos hídricos superficiais. Em termos de qualidade, não obstante a elevada mineralização das amostras de água recolhidas, considera-se a existência de águas subterrâneas adequadas ao uso agrícola e mesmo ao consumo humano.

A síntese antes apresentada mostra a necessidade de implementar medidas susceptíveis de proporcionarem um aproveitamento sustentado dos recursos hídricos. Assim, no quadro da gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio, propõem-se as seguintes recomendações:

- ❖ Instalação imediata de, pelo menos, uma estação climatológica completa no Monte Penoso, uma vez que é a maior elevação orográfica da ilha do Maio. Sem estes dados, qualquer estimativa das disponibilidades hídricas carece de suporte e deve ser entendida como uma estimativa por defeito;
- ❖ Rever o processo de obtenção de dados climatológicos, particularmente os registos diários de precipitação. Deveria ponderar-se a possibilidade de instalação de estações climatológicas automáticas, alimentadas a energia solar;
- ❖ Executar sondagens hidrogeológicas de pesquisa e eventual captação de águas subterrâneas na área correspondente ao maciço central. Os dados a obter permitiriam efectuar uma caracterização hidrogeológica mais rigorosa da ilha do Maio, em particular das formações ígneas aquíferas. Além disso, as referidas sondagens poderiam eventualmente ser transformadas em captações para abastecimento público. No entanto, a execução de um programa de sondagens requer um acompanhamento profissional, com a realização de ensaios de caudal visando a caracterização hidráulica dos aquíferos e a definição de planos de exploração das captações;

- ❖ Promover a construção de captações em locais mais afastados da linha de costa e impedir a exploração de captações cujos rebaixamentos do nível freático sejam susceptíveis de permitir o avanço da cunha salina;
- ❖ Efectuar estudos geofísicos com vista a uma melhor definição da posição da interface água doce/ água salgada no sector norte da ilha. Em face desses estudos definir uma estratégia de controlo da intrusão salina nesse sector;
- ❖ Desenvolver estudos específicos para a selecção de locais para a instalação de barragens de retenção do escoamento superficial;
- ❖ Sensibilizar a população em geral para a necessidade de controlarem as extracções de águas subterrâneas e adoptarem práticas de rega mais eficientes;
- ❖ Com base nos dados a obter nas acções e estudos associados às recomendações efectuadas, elaborar um plano de gestão integrada dos recursos hídricos da ilha do Maio nas suas vertentes quantitativa e qualitativa. Os dados obtidos no presente estudo sugerem a existência de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que, devidamente aproveitados, serão suficientes para satisfazer as necessidades hídricas da população. No entanto, no estado actual do conhecimento, tais recursos não se encontram ainda devidamente caracterizados, tornando-se, por isso, premente a execução das recomendações apresentadas. O papel do poder político e dos organismos de gestão dos recursos hídricos é fundamental para a concretização destas recomendações que se consideram de carácter urgente. Afinal, não obstante a aridez da ilha do Maio, os recursos hídricos parecem existir, mas o conhecimento dos mesmos é ainda incipiente. Julga-se ter dado um contributo importante neste domínio, mas a verdadeira utilidade do presente trabalho só será revelada se o mesmo não se limitar a um estudo puramente académico. É pois necessário utilizar o conhecimento produzido na melhoria das condições de vida das populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, C.; Cabral, J. A.; Carvalho, J. N.; Pereira, J. M.; Mota Gomes, A. (2009) – *Sequência vulcano-estratigráfica comparada das ilhas da República de Cabo Verde*. 1º Simpósio Nacional de Recursos Hídricos de Cabo Verde, Praia, Cabo Verde, 16 e 17 de Julho. Publicação em CD-ROM.
- Ali, M. Y., Watts, A. B.; Hill, I. (2003) – A Seismic Reflection Profile Study of Lithospheric Flexure in the Vicinity of the Cape Verde Island. *J. Geophys. Res.*, 108 (B5), 2239, doi: 10.1029/2002JB002155.
- Alves, C. A. M.; Macedo, J. R.; Silva, C. L.; Serralheiro, A.; Peixoto, A. F. (1979) – *Estudo Petrológico e Vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Garcia de Orta, Ser. Geol., Lisboa, 3 (1-2): 47 -74.
- Amaral, I. (1964) – *Santiago de Cabo Verde - A Terra e os Homens*. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 78-145.
- Bebiano, J. B. (1932) - *A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde*. Oficina Gráfica, Lda., Lisboa, 275 p.
- Burri, C. (1960) - Petrochemie der Cap Verden and Vergleich der Caverdeschen vulcanismus mit demjenigen des Rheinlands. Schweizerische und Petrographische Mitteilungen. Zürich, vol.40. Tradução de N.F. Grossman. In Garcia de Orta, *Série Geologia.*, 1 (2), Lisboa, 48 p.
- Burke, K. e Wilson, J.T. (1972) - *Is the African Plate Stationary?*, Nature, 239: 387-390.
- Canas, A.; Lima, A.S.; Fonseca, J. (2003) – *Quantificação dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região de Montalegre (Norte de Portugal)*. Ciências da Terra, Volume Especial V. VI Congresso Nacional de Geologia, 62-63. Publicação do artigo completo em CD-ROM.
- Custódio, E. e Llamas, M. R. (1983) – *Hidrologia subterrânea*. Edições Omega, Barcelona, 2359 p.
- Crough, S. T. (1978) - Thermal origin of mid-plate hot-spot swells. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 2: 451-469.

- Cruz, J. V. (2004) – *Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores: História, ocorrência e qualidade*. Secretaria Regional do Ambiente, direcção regional do ordenamento do território e dos recursos hídricos, 288 p
- Custódio, E.; Llamas, M. R. (1983) – *Hidrologia Subterranea*. 2ª ed., Ed. Omega, 2 vols., 2359 p.
- De Paepe, P.; Klerkx, J. H. e Plink, P. (1974) – Oceanic tholeiites on the Cape Verde Islands: Petrochemical e geochemical evidence. *Earth planet. Sci. Lett*, 23: 347-54.
- Faria, F. X. (1987) – *Os solos da ilha do Maio*. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, 87 p.
- Gominho, M. F. A. (2007) – *Identificação da rede de monitorização da quantidade de água da bacia hidrográfica da Ribeira Seca - Cabo Verde. Princípios e monitorização*. Actas do VIII SILUSBA, 15 p.
- Heras, R. (1976) - *Hidrología y Recursos Hidraulicos*. Direccion General de Obras Hidraulicas, nº 120, tomo 1, 839 p.
- Instituto Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (2000) - *Visão Nacional sobre a Água, a Vida e o Ambiente no horizonte*. Praia.
- Instituto Nacional de Estatística (2000) – *Recenseamento geral da população e habitação*, Praia.
- Lancelot, Y. Seibold, E. et al (1977) – *Initial Rep. Deep Sea drill. Proj. 41*. U.S. Government Printing Office, Washington. 1259 p.
- Langmuir, D. (1997) – *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice Hall, New Jersey, 600 p.
- Lafuente, J. C. (1981) – *Química del agua*. Bellisco, Madrid, 423 p
- LeBas, M. J. (1980) – Alkaline magmatism and uplift of continental crust. *Proc. Geol. Assoc. London*, 91: 33-38.
- Lencastre, A.; Franco, F. M. (1992) – *Lições de Hidrologia*. 2ª ed., Universidade Nova de Lisboa, 453 p.
- Lerner, D. N.; Issar, A. S.; Simmers, I. (1990) – *Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge*. International Contributions to Hydrogeology, I. A. H., Verlag Heinz Heise, 345 p.

- Lima, A. S. (1994) – *Hidrogeologia de Regiões Graníticas, Braga – NW Portugal*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, 202 p.
- Lima, A. S. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticas, Minho Portugal*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 451 p.
- Lima, A. S. (2010) – *Composição e Origem das Águas Minerais Naturais – Exemplo de Caldas da Saúde*. Almedina, Coimbra, 246 p.
- Moreno, C. S. V. (2009) – *Aplicação de SIG no processamento do inventário florestal nacional - Cabo Verde*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 80 p.
- Mota Gomes, A. (1992) – *A Geologia e a Hidrogeologia da ilha do Maio*. Relatório inédito, Maio, Cabo Verde, 11 p.
- Mota Gomes, A. (2007) – *Hidrogeologia e recursos hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 296 p.
- Oppenheimer, J. Eaton, A. D. (1986) – Quality Control in Mineral Analysis. In *Proc. Water Quality Technology Conference (Houston, Texas, December 8-11, 1985)*. American Water Works Association, Denver, Colorado: 15 - 33.
- Pim, J.; Peirce, C.; Watts, A. B.; Grevemeyer, I.; Krabbenhoft, A. (2008) – Crustal Structure and Origin of the Cape Verde Rise. *Earth and Planetary Science Letters*, 272: 422-428.
- Pina, A. F. L. (2009) – *Hidrogeoquímica e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago - Cabo Verde*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 232 p.
- Reimann, C.; Caritat, P. (1998) – *Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 398 p.
- Schéma Directeur pour la mise en valeur des ressources en eau (1993 – 2005) Volume 1, Chapitre 3, 3-14
- Schöeller, H. (1962) – *Les eaux souterraines*. Masson, Paris, 642 p.
- Semedo, J. M. (2004) – *O Parque Natural da ilha do Fogo, Cabo Verde – Subsídios para a sua gestão e seu desenvolvimento*. Dissertação de mestrado, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Fundacion Universitaria Iberoamericana, España/Brasil, 160 p.

- Serralheiro, A. (1970) – *Geologia da ilha de Maio (Cabo verde)*. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 11p.
- Serralheiro, A. (1976) – *A Geologia da ilha de Santiago*. Faculdade de Ciências Universidade Lisboa, 218 p.
- Silva, L. C. (2008) - *Alguns aspectos da geologia das ilhas de Cabo Verde*. Seminários. Departamento de Geologia Marinha/ INETI, (Alfragide), Lisboa.
- Stillman, C. J.; Furnes, H.; LeBas, M. J.; Robertson A. H. F.; Zeilonka J. (1982) – *Journal of the Geological Society. The Geological History of Maio, Cape Verde Islands*. Oxford london edinburgh Boston Melbourne, Volume 139 part, 3 347-361 p.
- Strahler A. N. e Strahler A. H. (1989) – *Geografia Física*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 550p.
- Teixeira, A. J. S e Barbosa, L. A. G (1958) – *A Agricultura do Arquipélago de Cabo Verde*, Junta da Investigação do Ultramar, Lisboa, 177p.
- Torres, A. S. Soares J. M. P (196) – *Formações Sedimentares do Arquipélago de Cabo Verde*, Oficinas Gráficas da Casa Portuguesa, 396p.
- Vailleux e Bourguet (1974) – *La mise en valeur des aux subterrânes dans l'archipel du Cap Vert* Ministério da coordenação interterritorial, Brigada de Águas Subterrâneas do Cabo Verde, 290 p.
- Wanielista, M. (1990) – *Hydrology and Water Quantity Control*. John Wiley & Sons, New York, 565 p.

ANEXO

Quadro 1. Resultados analíticos das amostras em estudo.

Amostra	Eh	pHc	pHl	C.E.c	C.E.l	Si	Alc.	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
	mV			(uS/cm)	(uS/cm)	mg/L	mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L
Mp1	176	7.57	7.50	1110	1102	49.84	228.4	143	278.6
Mp2	209	7.54	7.96	1080	1068	48.34	223.6	148	272.8
Mp3	176	7.56	7.75	1697	1687	42.14	359.0	273	438.0
Mp4	-94	7.36	7.51	5840	5970	31.02	330.0	1652	402.6
Mp5	188	7.82	8.05	2190	2170	32.51	369.4	342	450.7
Mp6	236	7.49	7.58	1584	1577	41.92	296.6	236	361.9
Mp7	218	7.95	7.92	986	974	39.79	253.4	106	309.1
Mp8	199	7.68	7.82	1910	1896	38.93	253.3	324	309.0
Mp9	210	7.86	7.83	1369	1350	42.57	342.2	177	417.5
Mp10	257	7.50	7.82	1456	1427	41.92	315.8	195	385.3
Mp11	226	7.73	7.95	1980	1962	37.86	464.3	256	566.4
Mp12	225	7.35	7.92	3140	3170	37.65	445.2	619	543.1
Mp13	232	8.26	8.12	1556	1555	36.58	269.5	254	328.8
Mp14	259	7.49	7.48	7730	8230	30.16	230.9	2323	281.7
Mp15	246	7.84	8.03	832	824	33.58	344.2	31	419.9
Mp16	235	8.71	8.53	975	964	27.17	314.2	83	383.3
Mp17	205	9.05	7.73	3380	3460	29.30	187.4	827	228.6
Mp18	248	8.03	7.94	1357	1350	42.99	251.8	203	307.2

Quadro 1. (Cont.).

Amostra	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F	Br ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Mp1	46	27	0.80	0.30	0.6	40.30	24.6	149	7.68
Mp2	46	33	0.80	0.80	0.4	37.70	23.1	145	7.63
Mp3	37	0.2	<0.01	0.07	1.3	33.40	13.8	144	6.34
Mp4	101	8.8	4.00	<0.01	6.3	279.00	212.0	513	35.70
Mp5	56	32	<0.01	0.40	2.4	29.70	47.8	367	5.91
Mp6	139	8.2	<0.01	0.20	0.4	64.90	39.1	190	10.60
Mp7	43	3.3	0.40	0.30	0.4	35.80	22.2	138	8.21
Mp8	133	45	<0.01	0.20	1.4	54.10	28.2	296	13.80
Mp9	69	3	0.40	0.20	0.4	50.60	32.8	173	10.90
Mp10	58	34	0.70	0.10	0.7	63.00	33.9	171	8.46
Mp11	81	31	0.70	0.20	0.8	28.10	40.8	298	8.08
Mp12	119	10	0.80	<0.01	1.9	37.50	63.7	538	14.50
Mp13	32	15	0.60	0.08	0.9	39.40	32.1	241	5.15
Mp14	64	38	<0.01	<0.01	7.4	126.00	201.0	1120	26.50
Mp15	15	12	0.40	0.30	0.3	19.90	18.6	154	4.66
Mp16	13	14	0.70	<0.01	0.6	24.00	17.0	172	4.79
Mp17	107	25	1.00	<0.01	2.1	105.00	81.1	446	37.10
Mp18	25	28	0.70	0.10	1.2	34.10	31.7	205	7.05

Quadro 1. (Cont.).

Amostra	Sr	V	Al	Sc	Ti	Mn	Ni	Cu	Zn
	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
Mp1	370	16.70	10	6	4.10	0.90	0.30	0.6	4.70
Mp2	360	17.70	34	6	5.40	3.00	1.10	4.6	49.20
Mp3	800	27.30	20	5	4.00	4.70	0.70	1.4	15.80
Mp4	4500	< 0.1	6	5	3.70	2420.00	2.50	7.1	17.90
Mp5	740	5.80	6	4	2.70	2.20	0.70	5.3	2.80
Mp6	860	10.60	9	5	3.50	8.80	0.40	0.9	2.90
Mp7	400	16.80	24	5	4.20	2.90	0.50	1.6	7.20
Mp8	680	23.50	27	4	4.30	15.40	0.70	0.9	8.20
Mp9	680	16.40	14	5	3.80	1.50	0.50	1.2	4.20
Mp10	740	19.70	4	5	3.10	0.50	0.40	< 0.2	1.80
Mp11	930	49.50	18	5	3.60	1.70	0.60	1.5	6.00
Mp12	1680	27.00	12	5	3.20	0.60	0.70	9.2	15.00
Mp13	630	47.60	10	4	2.90	9.50	0.70	1.1	6.00
Mp14	6300	35.30	4	6	3.60	3.50	1.00	17.6	6.50
Mp15	300	49.90	22	5	3.40	2.20	0.50	1.1	16.60
Mp16	270	39.40	21	4	3.00	2.90	0.80	1.2	7.70
Mp17	1200	22.40	16	5	3.90	39.20	12.20	13.1	3.90
Mp18	540	90.00	18	6	3.80	6.40	0.60	0.9	5.40

Quadro 1. (Cont.).

Amostra	Se	Br	Rb	Y	Mo	I	Ba	La	Ce
	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
Mp1	6.30	715	0.54	0.02	15.60	81	25.50	0.01	0.03
Mp2	8.20	722	0.99	0.06	17.40	87	28.10	0.09	0.19
Mp3	2.90	1620	2.18	0.04	3.50	102	55.60	0.06	0.14
Mp4	11.10	7690	2.64	0.05	0.90	104	382.00	0.04	0.14
Mp5	11.80	1940	6.46	0.03	2.50	45	57.30	0.01	0.03
Mp6	6.70	1190	1.52	0.02	6.20	72	48.20	0.02	0.05
Mp7	4.10	508	1.06	0.03	9.50	53	39.80	0.04	0.10
Mp8	11.00	1640	1.46	0.03	10.30	51	81.10	0.05	0.12
Mp9	4.40	816	1.00	0.03	6.00	68	42.90	0.03	0.07
Mp10	10.50	971	1.47	0.01	4.10	70	18.50	0.01	0.02
Mp11	7.30	1330	3.55	0.03	3.90	61	13.10	0.03	0.08
Mp12	8.90	3090	6.28	0.03	15.20	55	2.20	0.02	0.03
Mp13	7.30	1450	4.73	0.02	2.40	30	6.80	0.02	0.06
Mp14	26.80	13300	17.40	0.04	2.00	84	4.00	0.01	0.02
Mp15	3.80	370	3.70	0.05	4.90	57	0.70	0.06	0.12
Mp16	2.80	657	2.56	0.06	4.90	46	20.90	0.05	0.13
Mp17	20.80	4480	3.96	0.06	5.90	95	244.00	0.03	0.07
Mp18	10.10	1310	6.88	0.04	3.00	43	9.00	0.04	0.11

Quadro 1. (Cont.).

Amostra	Nd	Sm	Eu	Gd	Pb	U	As	Pr
	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
Mp1	0.015	0.002	0.002	0.004	0.11	0.13	0.83	0.004
Mp2	0.083	0.022	0.006	0.018	0.93	0.11	0.93	0.020
Mp3	0.058	0.012	0.005	0.013	0.31	0.91	0.66	0.015
Mp4	0.032	0.007	0.017	0.011	0.06	0.82	1.27	0.008
Mp5	0.012	0.003	0.003	0.003	0.17	0.97	<0.03	0.003
Mp6	0.022	0.003	0.003	0.005	0.35	0.29	0.29	0.004
Mp7	0.049	0.01	0.004	0.007	0.21	0.26	0.50	0.012
Mp8	0.045	0.011	0.006	0.009	0.24	0.65	0.50	0.013
Mp9	0.028	0.008	0.004	0.004	0.14	0.46	0.43	0.007
Mp10	0.008	0.001	0.001	0.002	0.06	0.55	0.62	0.002
Mp11	0.035	0.005	0.003	0.005	0.37	1.33	0.90	0.008
Mp12	0.016	0.004	0.001	0.005	0.53	1.78	0.85	0.004
Mp13	0.025	0.006	0.001	0.004	0.16	0.36	0.81	0.007
Mp14	0.009	0.001	<0.001	0.002	0.05	1.15	3.53	0.002
Mp15	0.061	0.011	0.004	0.010	0.26	0.76	1.17	0.015
Mp16	0.059	0.013	0.004	0.010	0.22	0.52	1.26	0.015
Mp17	0.037	0.009	0.013	0.007	0.09	1.12	1.31	0.007
Mp18	0.046	0.008	0.003	0.009	0.14	0.68	0.92	0.011