

SELMA ANDREA REZENDES CORDEIRO

**MONITORIZAÇÃO DE FLUORETOS NA ÁGUA CAPTADA PARA
CONSUMO HUMANO NO CONCELHO DE PONTA DELGADA
(SÃO MIGUEL – AÇORES)**



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2011**

SELMA ANDREA REZENDES CORDEIRO

**MONITORIZAÇÃO DE FLUORETOS NA ÁGUA CAPTADA PARA
CONSUMO HUMANO NO CONCELHO DE PONTA DELGADA
(SÃO MIGUEL – AÇORES)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
DO AMBIENTE PELA UNIVERSIDADE DOS AÇORES DE ACORDO COM O DISPOSTO NO N.º 1
DO ART. 9º DO REGULAMENTO DO Mestrado em Engenharia do Ambiente, PUBLICADO
EM DIÁRIO DA REPÚBLICA, II SÉRIE, N.º 210, DE 31 DE OUTUBRO DE 2006.

**ORIENTADORES:
PROFESSOR DOUTOR JOSÉ VIRGÍLIO CRUZ
PROFESSOR DOUTOR RUI MOREIRA DA SILVA COUTINHO**

UNIVERSIDADE DOS AÇORES



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2011**

ÍNDICE

ÍNDICE	I
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	IX
AGRADECIMENTOS	XI
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. NOTA PRÉVIA	1
1.2. OBJECTIVOS.....	2
1.3. METODOLOGIA.....	3
1.4. ESTRUTURA DA TESE	3
CAPITULO 2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	5
2.2. ENQUADRAMENTO GEOTECTÓNICO	6
2.3. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO E VULCANOLÓGICO.....	15
2.4. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO	23
2.4.1 SISTEMAS AQUÍFEROS	25
CAPITULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE PONTA DELGADA.....	30
3.1. BALANÇO DAS NECESSIDADES/DISPONIBILIDADES DE ÁGUA.....	31
3.2. SISTEMA DE CONTROLO E MONITORIZAÇÃO	43
CAPITULO 4 – FLUORETOS E SUA MOBILIDADE NO AMBIENTE	48
4.1. MOBILIDADE NO SOLO	48
4.2. MOBILIDADE NO AR.....	51
4.3. MOBILIDADE NA ÁGUA	52

4.3.1 MECANISMOS DE FLUORETAÇÃO	54
4.3.2 MECANISMOS DE DESFLUORETAÇÃO	57
4.3.2.1 DESFLUORETAÇÃO POR SORÇÃO.....	57
4.3.2.2 DESFLUORETAÇÃO POR CO-PRECIPITAÇÃO.....	60
4.3.2.3. DESFLUORETAÇÃO POR CONTACTO.....	63
4.3.3 CASOS DE ESTUDO	66
4.4. MOBILIDADE NOS SERES VIVOS.....	70
CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	72
5.1. PLANO E MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	72
5.2. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE ANÁLISE	75
5.2.1 DETERMINAÇÃO DE PH.....	75
5.2.2 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA.....	76
5.2.3 DETERMINAÇÃO DE OXIGÉNIO DISSOLVIDO	77
5.2.4 DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE E DE CO ₂	78
5.2.5 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA E DE CAUDAL	80
5.2.6 FILTRAÇÃO E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	81
5.2.7 DETERMINAÇÃO DOS ANIÕES – CROMATOGRAFIA IÓNICA	82
5.2.8 DETERMINAÇÃO DOS CATIÕES – ABSORÇÃO ATÓMICA.....	84
5.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	85
CAPÍTULO 6 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	92
6.1. HIDROGEOQUÍMICA	92
6.1.1 DETERMINAÇÃO DAS FÁCIES HIDROGEOQUÍMICAS	92
6.1.2 ÍNDICES DE SATURAÇÃO	94
6.2. PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS	99
CAPÍTULO 7 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	105
7.1. CONCEITO	105
7.2. PRIMEIROS ESTUDOS.....	107
7.3. OUTRAS PATOLOGIAS	108

7.4.	ESTUDO DA PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE FLUOROSE DENTÁRIA E DE CONTRACÇÃO DE CARIE DENTÁRIA NO CONCELHO DE PONTA DELGADA	109
7.4.1	ÍNDICE DE FLUOROSE DENTÁRIA	110
7.4.2	ÍNDICE DE CÁRIE DENTÁRIA NA DENTIÇÃO PERMANENTE	110
7.4.3	CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE FLUOROSE DENTÁRIA E DE CONTRACÇÃO DE CÁRIE DENTARIA NO CONCELHO DE PONTA DELGADA	112
7.4.4	CARTAS DE PERIGO	116
7.4.5	MODELAÇÃO	121
CAPITULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS		123
BIBLIOGRAFIA		127
ANEXOS		133
	ANEXO I – FICHA DE CAMPO.....	A-1
	ANEXO II – IDENTIFICAÇÃO DAS CAPTAÇÕES MONITORIZADAS	A-3
	ANEXO III – DIAGRAMAS DE PIPER E DE SCHOELLER.....	A-10

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização geográfica do Arquipélago dos Açores.	5
Figura 2.2. Localização geográfica da ilha de S. Miguel (projecção em U.T.M., zona 26S).....	6
Figura 2.3. Carta Batimétrica da zona da Junção Tripla dos Açores (simplificado de Lourenço <i>et al.</i> , 1997, <i>in</i> Ferreira, 2000).....	7
Figura 2.4. Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA - Crista Média-Atlântica; ZFEA - Zona de Fractura Este dos Açores; RT - <i>Rift</i> da Terceira (retirado de Coutinho <i>et al.</i> , 2008).	7
Figura 2.5. Principais estruturas tectónicas da ilha de S. Miguel (dados de Gaspar <i>et al.</i> , 1995; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo, 2004; Carmo <i>et al.</i> , 2009; Wallenstein <i>et al.</i> , 2004; Carmo, em preparação). Coordenadas U.T.M., zona 26S (<i>in</i> : Pacheco <i>et al.</i> , 2011)	10
Figura 2.6. Erupções históricas registadas no Arquipélago dos Açores (modificado de Weston, 1964 com dados de Queiroz <i>et al.</i> , 1995, Queiroz, 1997 e Gaspar <i>et al.</i> , 2003) (imagem do CVARG, 2007).	12
Figura 2.7. Carta epicentral dos eventos registados entre 1997 e 2010 no Arquipélago dos Açores (imagem do CIVISA, 2011).	14
Figura 2.8. Sismos históricos registados no Arquipélago dos Açores (imagem do CVARG, 2007)	14
Figura 2.9. Regiões geomorfológicas definidas por Zbyszewski (1959 e 1961) e designadas por: 1 - Maciço Vulcânico das Sete Cidades; 2 – Região dos Picos; 3 – Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau; 4 – Planalto da Achada das Furnas; 5 – Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Região da Tronqueira e do Nordeste e 8 - Plataforma Litoral do Norte (Projecção em U.T.M., zona 26S)	16
Figura 2.10. Distribuição dos centros eruptivos no maciço das Sete Cidades (Queiroz, 1997)	17
Figura 2.11. Distribuição dos centros eruptivos no sistema Vulcânico da Região dos Picos (Ferreira, 2000).....	17
Figura 2.12. Vista da Região dos Picos, a partir do Vulcão do Fogo, em que é possível observar os cones de escórias alinhados segunda uma direcção NW-SE. Ao fundo pode ver-se o Maciço das Sete Cidades (fotografia de Coutinho)	18
Figura 2.13. Distribuição dos centros eruptivos no Maciço Vulcânico do Fogo (Wallenstein, 1999).....	19
Figura 2.14. Vista do da Lagoa do Fogo podendo observar-se, ao fundo, um dos domos de natureza traquítica (fotografia de Coutinho).	20

Figura 2.15. Vista do Planalto da Achada com o Vulcão do Fogo em primeiro plano (fotografia de Coutinho).	20
Figura 2.16. Vista do Vulcão das Furnas, a partir do Salto do Cavalo, podendo observar-se em primeiro plano a freguesia das Furnas e, ao fundo, a lagoa das Furnas (fotografia de Coutinho).	21
Figura 2.17. Vista do Vulcão da Povoação de NW para SE (esquerda) e de E para W (direita) (fotografias de Coutinho).	22
Figura 2.18. Vista da Região da Tronqueira e dos vales encaixados (fotografia de Coutinho).	22
Figura 2.19. Distribuição espacial dos sistemas aquíferos na ilha de S. Miguel (adaptado de Cruz, 2001).	25
Figura 3.1. Evolução de caudal na captação Ribeira da Praia.	32
Figura 3.2. Evolução de caudal na captação Galeria de Mina.	32
Figura 3.3. Evolução de caudal na captação Ribeira dos Passarinhos.	32
Figura 3.4. Evolução de caudal na captação Grota do Lanço.	32
Figura 3.5. Evolução de caudal na captação Lourinhos I.	32
Figura 3.6. Evolução de caudal na captação Lourinhos II.	32
Figura 3.7. Evolução de caudal na captação Janelas do Inferno.	32
Figura 3.8. Evolução de caudal no furo de captação JK3.	32
Figura 3.9. Evolução de caudal no furo de captação JK2.	32
Figura 3.10. Evolução de caudal no furo de captação AC-LC1.	33
Figura 3.11. Evolução de caudal na captação Canário-Poço.	33
Figura 3.12. Evolução de caudal na captação Canário-Excedentes.	33
Figura 3.13. Evolução de caudal na captação Canário.	33
Figura 3.14. Evolução de caudal na captação Água Nova.	33
Figura 3.15. Evolução de caudal na captação Cerrado da Areia.	33
Figura 3.16. Evolução de caudal na captação Cerrado da Fonte.	33
Figura 3.17. Evolução de caudal na captação Chã dos Tanques.	33
Figura 3.18. Evolução de caudal na captação Tio Melo.	33
Figura 3.19. Evolução de caudal na captação Nicolau Maria.	34
Figura 3.20. Evolução de caudal na captação Mata do Paraíso.	34
Figura 3.21. Evolução de caudal na captação Tio Santos.	34
Figura 3.22. Evolução de caudal na captação José Cabral.	34

Figura 3.23. Evolução de caudal na captação Mestre António Carvalhal.	34
Figura 3.24. Evolução de caudal na captação Carvalhal.	34
Figura 3.25. Evolução de caudal na captação Pinguinhas.	34
Figura 3.26. Evolução de caudal na captação Espigão Alto.	34
Figura 3.27. Evolução de caudal na captação Ribeira do Ferreiro.....	34
Figura 3.28. Evolução de caudal na captação Pico do Faial.	35
Figura 3.29. Evolução de caudal na captação Moinhos I.....	35
Figura 3.30. Evolução de caudal na captação Figueira.	35
Figura 3.31. Evolução de caudal na captação Margem da Aduora.	35
Figura 3.32. Evolução de caudal na captação Garcia.	35
Figura 3.33. Evolução de caudal na captação Pedras Brancas.	35
Figura 3.34. Evolução de caudal na captação Moinhos Sete Cidades.....	35
Figura 3.35. Evolução de caudal na captação Rego.	35
Figura 3.36. Evolução de caudal na captação Casmol.	35
Figura 3.37. Evolução de caudal na captação Mata dos Lagos.	36
Figura 3.38. Evolução de caudal na captação Salto da Estrela.....	36
Figura 3.39. Evolução de caudal na captação Rocha de Santo António – Fonte Grande.....	36
Figura 3.40. Evolução de caudal na captação Rocha de Santo António – Calha.....	36
Figura 3.41. Evolução de caudal na captação Couto.....	36
Figura 3.42. Evolução de caudal na captação Tamujal.....	36
Figura 3.43. Evolução de caudal nas captações Rabaças e Agriões.....	36
Figura 3.44. Evolução de caudal nas captações Fontainhas e Chã das Fontes.....	36
Figura 3.45. Evolução de caudal nas captações Curvos, Ferreiros, Roçados e Criações.....	36
Figura 3.46. Evolução dos caudais captados pelos SMAS de Ponta Delgada entre 2000 e 2010 (gráfico fornecido pelos SMAS).....	37
Figura 3.47. Sistema de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada.....	44
Figura 3.48 Incumprimentos ao valor paramétrico.....	45
Figura 3.49. Séries temporais para o parâmetro fluoreto nas zonas de abastecimento dos SMAS de Ponta Delgada, de 1998 a 2010 (as zonas de abastecimento estão representadas de A a Z)	47
Figura 4.1. Ciclo hidrogeoquímico do Flúor (adaptado de Selinus <i>et al.</i> , 2005)	49

Figura 4.2. Sorção em filtros de alumina activada (adaptado de Dahi, 2000)	60
Figura 4.3. Processo de co-precipitação (adaptado de Dahi, 2000)	63
Figura 4.4. Instalação de desfluoretação (precipitação por contacto) para uso habitacional em Arusha, Tanzânia (adaptado de Dahi, 1998 <i>in</i> Dahi, 2000)	65
Figura 4.5. Instalação de desfluoretação (precipitação por contacto) para uso comunitário em Arusha, Tanzânia (adaptado de Dahi, 1998 <i>in</i> Dahi, 2000)	66
Figura 5.1. Determinação de pH e condutividade no campo com recurso ao medidor multiparamétrico WTW.....	77
Figura 5.2. Medidor portátil WTW 340i para determinação de oxigénio dissolvido.....	78
Figura 5.3. Determinação de alcalinidade e CO ₂ por titulação volumétrica.	79
Figura 5.4. Determinação do caudal.	81
Figura 5.5. Determinação dos aniões através da cromatografia iónica.	83
Figura 5.6. Determinação dos catiões através da absorção atómica.	84
Figura 6.1. Diagrama de Piper para as águas monitorizadas (inclui Redondo e Lobeira).	93
Figura 6.2. Diagrama de Schoeller para as águas monitorizadas (inclui Redondo e Lobeira).	93
Figura 6.3. Variação do índice de saturação da Fluorite em função do pH.	96
Figura 6.4. Variação do índice de saturação da Calcite em função do pH.	96
Figura 6.5. Variação do índice de saturação da Dolomite em função do pH.	96
Figura 6.6. Variação do índice de saturação do Gesso em função do pH.	97
Figura 6.7. Variação do índice de saturação da Anidrita em função do pH.	97
Figura 6.8. Variação do índice de saturação da Calcedónia em função do pH.	97
Figura 6.9. Variação do índice de saturação do CO ₂ em função do pH.	98
Figura 6.10. Variação do índice de saturação do Quartzo em função do pH.	98
Figura 6.11. Relação entre a concentração de Sódio e de Cloreto.	101
Figura 6.12. Relação entre a concentração de Sódio e de Cloreto (sem Lobeira e sem JK3).....	101
Figura 6.13. Relação entre a concentração em HCO ₃ ⁻ e de Sódio.	101
Figura 6.14. Relação entre a concentração em HCO ₃ ⁻ e de Sódio (sem JK3 e sem Lobeira).	102
Figura 6.15. Relação entre a concentração em HCO ₃ ⁻ e SiO ₂	102
Figura 6.16. Relação entre a concentração em HCO ₃ ⁻ e SiO ₂ (sem Redondo)	102
Figura 6.17. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Cálcio.....	103
Figura 6.18. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Cálcio (sem Lobeira)	103

Figura 6.19. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Sódio.	103
Figura 6.20. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Sódio (sem JK3 e sem Lobeira)	103
Figura 7.1. Evolução temporal da concentração em fluoreto registada entre 2007 e 2010.	113
Figura 7.2. Representação gráfica dos valores de probabilidade de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada.....	114
Figura 7.3. Evolução temporal da concentração em fluoretos (mg/L).	117
Figura 7.4. Carta temática de perigo de fluoretação.	119
Figura 7.5. Carta temática de perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária.	120
Figura 7.6. Representação da evolução da concentração em fluoreto na mistura de águas.....	122
Figura 7.7. Evolução logarítmica da concentração das diferentes espécies químicas presentes em solução.	122
Figura 7.8. Variação das espécies iónicas no gradiente de mistura (foram utilizadas as formas iónicas dominantes).....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Localização e consequências inerentes aos principais eventos sísmicos no arquipélago dos Açores, com intensidade superior a VII, na escala de Escala Mercalli Modificada (adaptado de Nunes <i>et al.</i> , 2004)	15
Tabela 2.2 – Caracterização dos sistemas aquíferos da ilha de S. Miguel (adaptado de Cruz, 2001a <i>in</i> Costa, 2006).....	26
Tabela 5.1. Identificação dos Pontos de Amostragem	73
Tabela 5.2. Calendarização	74
Tabela 5.3. Resultados físico-químicos	86
Tabela 5.4. Resultados de concentração para os Aniões	87
Tabela 5.5. Resultados de concentração para os Catiões	88
Tabela 6.1. Fácies hidroquímicas das águas monitorizadas e respectiva percentagem de ocorrência.....	93
Tabela 7.1. Classificação de Dean para Índice de Fluorose Dentária (adaptado de Cabral <i>et al.</i> , 2005)	110
Tabela 7.2. Classificação CPOD para Índice de Cárie Dentária (adaptado de Cabral <i>et al.</i> , 2005) (a designação numérica refere-se à dentição permanente e a designação alfabética refere-se à dentição decídua)	111
Tabela 7.3. Valores de concentração média de fluoreto na rede de distribuição para as diferentes zonas de abastecimento geridas pelos SMAS de Ponta Delgada	114
Tabela 7.4. Valores de probabilidade de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada	115
Tabela 7.5. Representação do perigo de fluoretação das captações monitorizadas através da criação de classes modais	117
Tabela 7.6. Representação do perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária	118
Tabela 7.7. Dados de entrada para modelação de mistura de águas	121

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a ajuda de algumas pessoas, a quem eu expresso a minha profunda gratidão:

- Aos meus Orientadores, Professor Doutor José Virgílio Cruz e Professor Doutor Rui Coutinho, por toda a disponibilidade concedida, pelo contínuo apoio técnico e científico que sempre veio ao encontro das minhas necessidades, e, principalmente, pela paciência, incentivo e profissionalismo que sempre demonstraram ter;
- Ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores, pelas facilidades concedidas, que tornaram possível a realização do presente trabalho;
- Ao coordenador do presente mestrado, Professor Doutor Félix Rodrigues, pela disponibilidade que sempre teve em me receber, por todas as sugestões oferecidas e que resultaram numa mais valia para o desenvolvimento deste trabalho;
- Ao Director Delegado dos SMAS de Ponta Delgada, Eng.º Jorge Nemésio, por ter permitido que este trabalho fosse desenvolvido nos SMAS de Ponta Delgada em parceria com a Universidade dos Açores, tendo fornecido toda a logística disponível, os dados solicitados e os recursos humanos necessários;
- Ao Doutor Artur Lima, por me ter recebido e explicado os seus métodos de estudo na pesquisa da fluorose dentária;
- À colega Rita Mestre e seu marido, Rui Mestre, pela amizade que sempre demonstraram ter por mim e pela ajuda preciosa em diversas etapas da realização deste trabalho;

- À minha família e amigos, por terem compreendido a minha menor disponibilidade, tendo sempre oferecido o apoio e carinho que sempre precisei;
- Ao meu Jorge, por ter estado sempre ao meu lado e me ter oferecido sempre o seu amor e carinho em todas as etapas.

A todos, o meu obrigado.

RESUMO

A água subterrânea captada para consumo humano no concelho de Ponta Delgada e que abastece cerca de 70 000 pessoas, apresenta uma evolução crescente na concentração em fluoretos. As concentrações tendem a atingir os 2,0 mg/L quando o seu valor paramétrico é de 1,5 mg/l.

Como entidade gestora de água, os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Ponta Delgada captam, conferem tratamento adequado, transportam, armazenam e distribuem água ao concelho de Ponta Delgada, fornecendo ainda água em alta aos concelhos de Lagoa e de Ribeira Grande. A água captada é integralmente de origem subterrânea, totalizando 45 captações de nascentes e três furos de captação.

Ora, o historial de resultados das análises físico-químicas efectuadas à água distribuída pelos SMAS de Ponta Delgada revela que, ao longo dos anos, tem havido um aumento da concentração em fluoretos em algumas captações, nomeadamente nas nascentes em torno da caldeira do Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau e nas nascentes em torno da caldeira do Maciço Vulcânico das Sete Cidades.

De forma a estudar os mecanismos de enriquecimento das águas em fluoreto, optou-se por determinar uma série de parâmetros (pH, temperatura, condutividade, CO₂, bicarbonato, fluoreto, sódio, cloreto, sulfato, fosfato, potássio, cálcio, magnésio, nitrato e sílica) que, para além de terem possibilitado a caracterização físico-química das captações, permitiram estudar os processos hidrogeoquímicos que, eventualmente, estiveram na origem da composição química das águas estudadas. Procedeu-se à especiação química para os diferentes elementos estudados, determinando-se as espécies dominantes em solução, e calculou-se os índices de saturação, para diversos minerais, o que permitiu concluir-se que as origens de fluoreto nas águas captadas devem-se, substancialmente, a fenómenos de interacção água-rocha, atendendo que as rochas predominantes nos aquíferos são rochas silicatadas ricas em flúor, como, por exemplo, o basalto, a pedra-pomes e o ignimbrito.

Aplicando modelos reaccionais de mistura, modelou-se a evolução da espécie química dominante em flúor para duas origens de água, consoante o gradiente de mistura, cujo objectivo visou a diminuição da probabilidade de incidência da fluorose dentária e da contracção de cárie dentária em zonas de abastecimento predispostas a estas patologias. O modelo encontrado mostrou ser capaz de calcular as fracções de mistura óptimas que permitem, simultaneamente, a diminuição da concentração em fluoreto na água distribuída na zona de abastecimento de Bretanha e Remédios e o aumento da concentração de fluoreto nas zonas de abastecimento de Santa Bárbara e Remédios e de Santo António e Capelas, conseguindo valores compreendidos entre 0,5 e os 1,0 mg/L.

ABSTRACT

Groundwater abstracted for human consumption in the municipality of Ponta Delgada, which supplies around 70 000 people, has a rising trend in concentration of fluoride. Concentrations tend to reach 2,0 mg/L when the parametric value is 1,5 mg/L.

As the management entity of the water supply, the SMAS of Ponta Delgada capture, provide appropriate treatment, transport, store and distribute water to the municipality of Ponta Delgada, supplying water also to the municipalities of Lagoa and Ribeira Grande. All the sources are groundwater, totalizing 45 springs and three boreholes.

The track record of results of physical and chemical analysis carried out in the water distributed by SMAS Ponta Delgada reveals that, over the years, there has been an increase in fluoride concentration in some sources, particularly in the springs around the caldera of the Massif Volcanic of Serra de Água de Pau and in the springs around the caldera of the Massif Volcanic of Sete Cidades.

In order to study the mechanisms of enrichment of fluoride in waters, it was determined a series of parameters (pH, temperature, conductivity, CO₂, bicarbonate, fluoride, sodium, chloride, sulfate, phosphate, potassium, calcium, magnesium, nitrate and silica) that, in addition to having allowed the physico-chemical characterization of water sources, it allowed to study the hydrogeochemical processes that eventually led to the chemical composition of waters studied. It was proceeded to the chemical speciation for the different elements studied through the determination of the dominant species in solution, and it was calculated the saturation indices for various minerals, which led to conclude that the origins of fluoride in the groundwater is due, substantially, to the phenomena of water-rock interaction, given that the predominant rocks in the aquifers are silicate rocks rich in fluoride as, for example, basalt, pumice and ignimbrite.

With the use of reactional mixture models, the evolution of the dominant chemical species for fluoride in two sources of water could be modeled, depending on the mixing gradient, whose goal aimed

to reduce the probability of dental fluorosis incidence and of dental caries contraction in supply areas predisposed to these conditions. The achieved model proved to be able to calculate the optimal mixture of fractions that allow both the reduction of fluoride concentration in water distributed in the supply area of Bretanha and Remédios and the increase of fluoride concentration in the supply areas of Santa Barbara and Remedios and Santo Antonio and Capelas, achieving values between 0,5 and 1,0 mg/L.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste numa dissertação apresentada à Universidade dos Açores para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na área das Geociências e descreve a aplicação de técnicas de amostragem, análise e modelação geoquímica ao estudo dos processos naturais de fluoretação das águas captadas para consumo humano no concelho de Ponta Delgada.

A presente dissertação reúne uma vasta informação acerca de águas subterrâneas captadas para consumo humano, em particular as águas extraídas dos aquíferos localizados na metade Oeste da ilha de São Miguel e que alimentam o sistema de abastecimento do concelho de Ponta Delgada e as águas captadas na zona centro da ilha e que abastecem uma pequena parte dos concelhos de Lagoa e de Ribeira Grande, fruto de uma gestão em alta efectuada pelos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Ponta Delgada.

A caracterização das origens de água exploradas pelos SMAS de Ponta Delgada, bem como a análise alargada das causas e das consequências da concentração verificada em fluoretos, foram as linhas orientadoras conducentes à elaboração desta tese.

1.1. NOTA PRÉVIA

Os SMAS de Ponta Delgada são a entidade gestora de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada, fornecendo ainda água em alta aos municípios de Lagoa e de Ribeira Grande. A água captada, integralmente de origem subterrânea, é tratada, transportada e armazenada antes de ser distribuída até à torneira de cada consumidor.

A ocorrência de teores em fluoretos superiores ao valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, tem conduzido ao aumento do número de incumprimentos apresentados por esta entidade gestora à Autoridade de Saúde e à Entidade Reguladora de Serviços

de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA), entidade criada pelo Governo Regional através do Decreto Legislativo Regional n.º 8/2010/A, de 5 de Março. Antes de Abril de 2010, a entidade competente era a Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), que continua a sê-lo apenas para as entidades gestoras de água no território continental português.

A persistência de concentrações elevadas de fluoretos na água para consumo humano conduz à fluorose dentária e, perante concentrações anormais e persistentes, à fluorose esquelética, distúrbios que resultam da bioacumulação de flúor nos dentes e nos ossos (D'Alessandro, 2006).

Ora, pretendendo esta entidade gestora garantir a saúde pública aos consumidores de água e, simultaneamente, cumprir com a legislação em vigor, pretende-se, com este trabalho, estudar as captações utilizadas para o consumo humano e relacionar as características da água captada com fenómenos naturais conducentes à fluoretação das mesmas.

A tese que se apresenta incide sobre a área de gestão dos SMAS de Ponta Delgada, pelo que o estudo irá englobar, principalmente, as captações geridas por esta entidade gestora, abarcando, portanto, os concelhos de Ponta Delgada, Lagoa e Vila Franca do Campo.

Atendendo à presença marcada de vulcanismo secundário no concelho da Povoação, foi efectuada uma colheita de água em duas captações na freguesia da Ribeira Quente para efeitos comparativos na discussão final dos resultados.

1.2. OBJECTIVOS

Este projecto teve como objectivos principais, avaliar as origens do ião fluoreto na água captada para consumo humano e relacionar o seu surgimento com as características geológicas e tectónicas próprias desta região vulcânica.

Cada sistema vulcânico apresenta características próprias, tais como a dimensão, a forma, a actividade eruptiva, tipos de produtos vulcânicos, a frequência das erupções, a variação volumétrica da emissão

de magma, a geometria das condutas eruptivas e o enquadramento tectónico, o que faz com que se diferenciem uns dos outros (Rodrigues, 2005).

Os resultados obtidos foram interpretados com o propósito de melhor compreender as implicações dos processos de vulcanismo secundário, com vista a produzir efeitos na garantia de uma melhor gestão da qualidade da água distribuída no concelho.

1.3. METODOLOGIA

De forma a estudar os processos de fluoretação natural das águas captadas no concelho de Ponta Delgada, seleccionou-se um conjunto de captações exploradas pelos SMAS que caracterizam a área de abastecimento e, após definido um plano de amostragem, determinaram-se os parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade, oxigénio dissolvido, CO₂ e alcalinidade), aniões (bicarbonato, fluoreto, cloreto, sulfato, fosfato) e catiões (sódio, potássio, cálcio, magnésio, nitrato e sílica).

Os resultados obtidos permitiram determinar a tipologia das águas captadas, através da construção de diagramas de Piper e de Schoeller, e, através da modelação hidrogeoquímica, permitiram o cálculo da especiação iónica e de índices de saturação, com recurso a três programas informáticos diferentes, o PHREEQC v.2.0 (Parkhurst & Appelo, 1999), o NETPATH (Plummer *et al.*, 1994) e o WATEQ4F (Ball & Nordstrom, 1991). A elaboração de gráficos e diagramas representativos foram materializados com recurso ao programa informático AQUACHEM v.3.7 (Waterloo hydrogeologic, 1998-1999).

1.4. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese compreende oito capítulos e três anexos. No primeiro capítulo são descritos os objectivos e a metodologia aplicada.

No Capítulo 2 é feito o enquadramento geodinâmico do arquipélago dos Açores, em especial da ilha de São Miguel. Apresenta-se uma breve descrição das principais características da actividade sísmica e vulcânica, da geomorfologia, da geologia, das principais estruturas tectónicas e da hidrologia da ilha.

No Capítulo 3 é feita uma breve caracterização do sistema de abastecimento de Ponta Delgada e a sua contribuição em alta para os concelhos de Lagoa e da Ribeira Grande. É apresentada a composição em fluoretos na água distribuída, bem como a sua evolução ao longo do tempo, valores que motivaram o estudo desenvolvido nesta tese.

No Capítulo 4 faz-se uma introdução ao elemento estudado, descrevendo a sua mobilidade no ambiente, o que resume o seu ciclo hidrogeoquímico. Esta descrição permite avaliarmos mais tarde as origens o fluoreto nas águas captadas.

A metodologia utilizada e a apresentação dos resultados são materializadas no Capítulo 5.

No Capítulo 6 é feito o tratamento e a discussão dos resultados obtidos. Neste capítulo é feita a caracterização e modelação hidrogeoquímica das águas captadas, bem como o cálculo de índices de saturação para diversos minerais.

No Capítulo 7 é efectuada uma análise probabilística de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária e no concelho de Ponta Delgada, com base nos valores de fluoreto registados nas diferentes zonas de abastecimento e nos valores limite considerados pela OMS como níveis mínimos para contracção de fluorose dentária e máximos para contracção de cárie dentária. São também apresentadas as cartas de perigo de fluoretação e de contracção das patologias acima descritas. É também efectuada uma modelação para a mistura de duas águas captadas no concelho de Ponta Delgada.

Por último, no Capítulo 8 são apresentadas as conclusões e as medidas de mitigação propostas, mediante as tecnologias existentes e opções de gestão possíveis.

CAPÍTULO 2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

No presente capítulo faz-se o enquadramento geodinâmico do arquipélago dos Açores, em especial na ilha em que incide o presente estudo, incluindo a hidrogeologia das águas subterrâneas captadas. Descrevem-se as principais características da actividade sísmica e vulcânica que se fazem sentir no arquipélago, a geomorfologia, as principais estruturas tectónicas e as características das águas captadas como resultado das características geodinâmicas da Região.

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O Arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, entre as latitudes $36^{\circ} 55' N$ e $39^{\circ} 44' N$ e as longitudes $24^{\circ} 46' W$ e $31^{\circ} 17' W$, é constituído por nove ilhas e alguns ilhéus de natureza vulcânica e assume, de uma forma geral, uma direcção WNW-ESSE, formando três grupos geográficos distintos. O grupo Ocidental é constituído pelas ilhas das Flores e do Corvo, o grupo Central inclui as ilhas da Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira, e o grupo Oriental é formado pelas ilhas de Santa Maria e São Miguel.

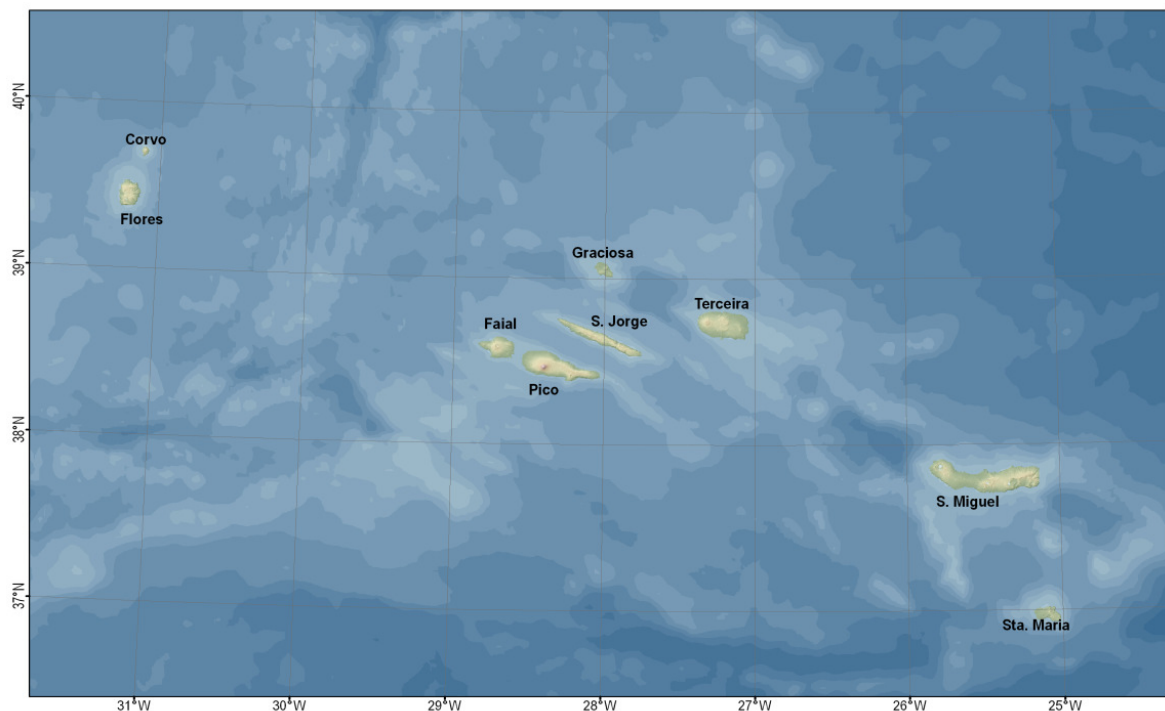


Figura 2.1. Localização geográfica do Arquipélago dos Açores.

A ilha de S. Miguel, com um comprimento máximo de cerca de 65 km e uma largura máxima de cerca de 16 km, abarca uma área aproximada de 746 km², e é a maior e mais populosa ilha dos Açores. Situa-se entre as latitudes 37°42' e 37°54' N e as longitudes 25°51' e 25°08' W (Figura 2.2).

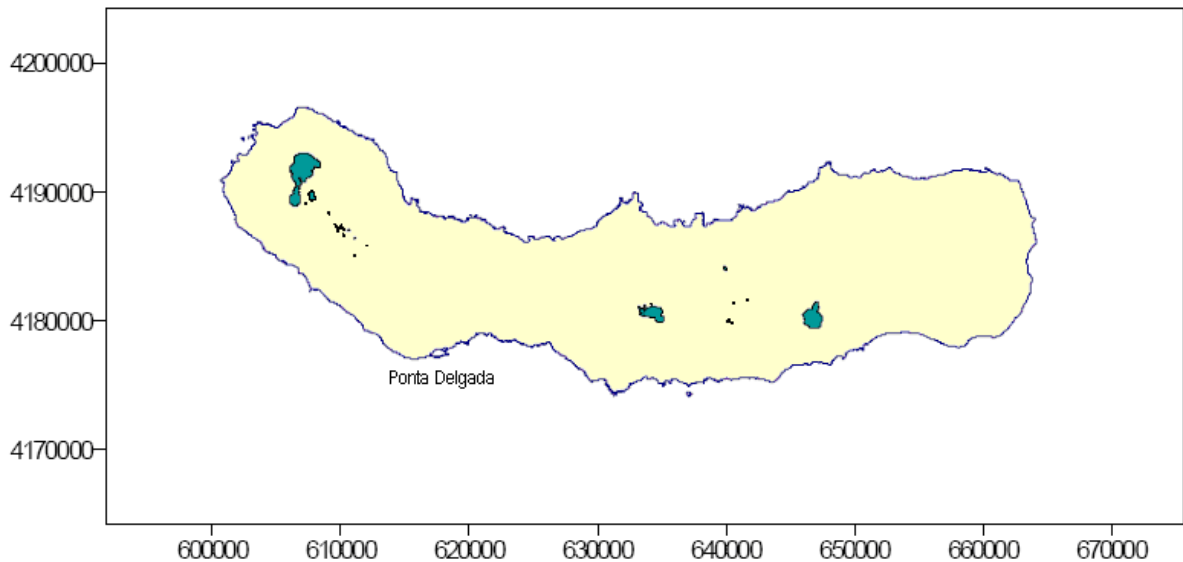


Figura 2.2. Localização geográfica da ilha de S. Miguel (projecção em U.T.M., zona 26S).

2.2. ENQUADRAMENTO GEOTECTÓNICO

O arquipélago dos Açores emerge a partir de uma estrutura submarina acidentada, de forma grosseiramente triangular designada por Plataforma dos Açores e definida pela curva batimétrica dos 2000 metros (Needham e Francheteau, 1974) (Figura 2.3).

O arquipélago apresenta um enquadramento geodinâmico complexo, dominado pela confluência das placas litosféricas Americana, Euroasiática e Africana, facto que se reflecte na existência de importantes sistemas de fracturas, nomeadamente a Crista Média-Atlântica (CMA), a Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA), o *Rift* da Terceira (RT) e a Falha Gloria (FG) (Figura 2.4).

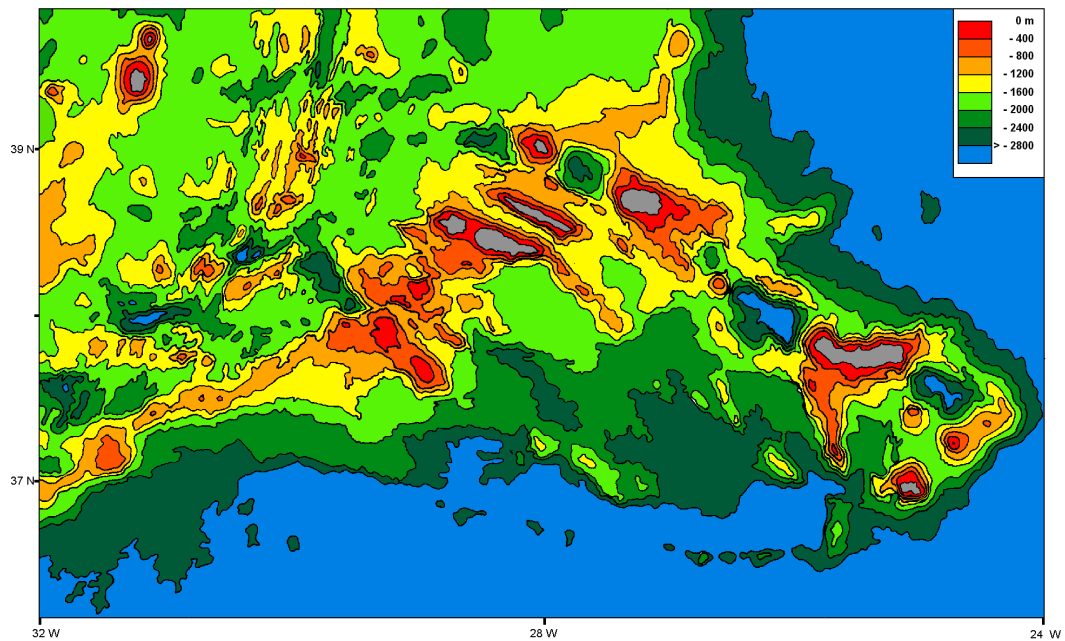


Figura 2.3. Carta Batimétrica da zona da Junção Tripla dos Açores (simplificado de Lourenço *et al.*, 1997, *in* Ferreira, 2000).

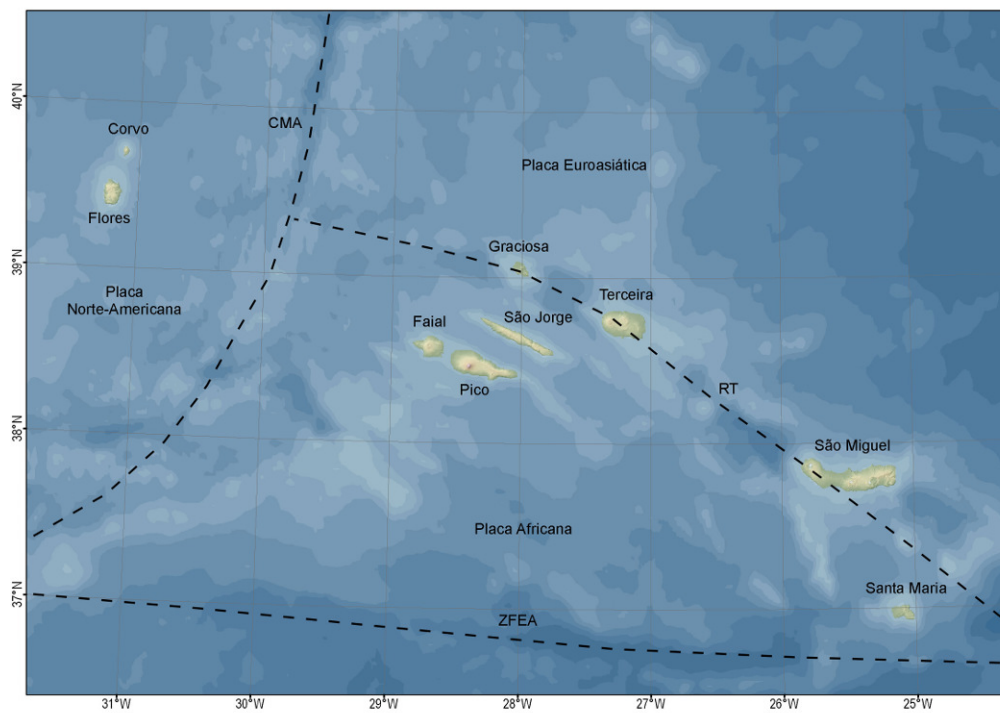


Figura 2.4. Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA - Crista Média-Atlântica; ZFEA - Zona de Fractura Este dos Açores; RT - *Rift* da Terceira (retirado de Coutinho *et al.*, 2008).

A CMA separa a placa Americana, a Ocidente, das placas Euroasiática e Africana, a Este, sendo cortada por diversas falhas transformantes de direcção geral E-W e apresenta valores de 1,7 cm/ano para a velocidade média de expansão a Norte dos Açores e 1,2 cm/ano a Sul, segundo uma direcção paralela às falhas transformantes (Nunes, 1999).

A ZFEA, com uma direcção aproximada W-E, corresponde à parte da Falha Açores-Gibraltar compreendida entre a CMA e os 24º 30' de longitude W (Heezen *et al.*, 1959 *in* Krause, 1965). Para alguns autores, trata-se de um troço sismicamente activo (Krause and Watkins, 1970; Forjaz, 1984; Nunes, 1991), enquanto outros o designam como assísmico (Laughton and Withmarsh, 1974; Searle, 1980; Nunes, 1999). Actualmente não se observa um movimento relativo ao longo desta zona de fractura (Nunes, 1999).

A falha Gloria localiza-se a Este da ilha de Santa Maria, prolongando-se até ao mar Mediterrâneo seguindo uma orientação W-E. É uma importante falha transformante em desligamento direito, que estabelece a fronteira entre a placa Euroasiática e a placa Africana, a Este dos Açores (Laughton *et al.*, 1972).

Devido à intensa actividade sísmica e vulcânica que caracteriza a Região Autónoma dos Açores, refere-se a importância de toda a faixa de direcção geral WNW-ESE determinada pela disposição das ilhas que constituem o grupo Central e o Oriental do arquipélago dos Açores. Neste contexto, inserem-se os alinhamentos Graciosa – Terceira – São Miguel, São Jorge – São Miguel e Faial – Pico – São Miguel (Agostinho, 1932; Agostinho, 1936 *in* Gaspar, 1996), frequentemente referidos sob a designação geral de *Rift* da Terceira (Searle, 1980 *in* Machado, 1959), um acidente tectónico com um comprimento total de 500 km. Note-se que o actual padrão da sismicidade revela uma distribuição dos epicentros maioritariamente concentrada ao longo de uma estreita faixa coincidente com o RT (Nunes, 1999).

O RT atravessa obliquamente o concelho de Ponta Delgada, passando pelo centro do Vulcão das Sete Cidades e percorrendo a frente Sudeste do Vulcão da Lagoa do Fogo. É em torno destes dois maciços que se localizam grande parte das captações de água exploradas pelos SMAS de Ponta Delgada (Figura 2.5).

2.2.1. ESTRUTURAS TECTÓNICAS

As principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel (Figura 2.5) seguem o padrão geral da Plataforma dos Açores. O *Rift* da Terceira, com direcção NW-SE, tem expressão nos *grabens* dos Mosteiros e Ribeira Grande, bem como em outras falhas que apresentam esta direcção.

O Maciço das Sete Cidades exhibe um sistema de falhas predominante com uma orientação NW-SE, coincidente com a direcção regional do *Rift* da Terceira. Algumas destas falhas atravessam a caldeira e estendem-se para SE, prolongando-se pela Região dos Picos. No flanco noroeste do vulcão das Sete Cidades situa-se o *graben* dos Mosteiros (Queiroz, 1997).

Segundo Queiroz (1990 e 1997), um segundo conjunto de falhas, menos proeminente, desenvolve-se segundo a direcção EW, existindo, também, um conjunto de falhas circulares, materializadas pelo arranjo anelar de alguns filões e pela forma como se dispõem alguns cones de pedra-pomes e *maars* (s.l), no interior da caldeira.

O Sistema Vulcânico da Região dos Picos desenvolve-se entre os vulcões poligenéticos das Sete Cidades e do Fogo. A distribuição espacial dos cones de escórias e a orientação das fissuras eruptivas permite constatar que todo este sector é afectado por um sistema de fracturas dominante, de direcção geral NW-SE, concordante com o sistema regional definido pelo *Rift* da Terceira (Machado, 1959; Ferreira, 2000).

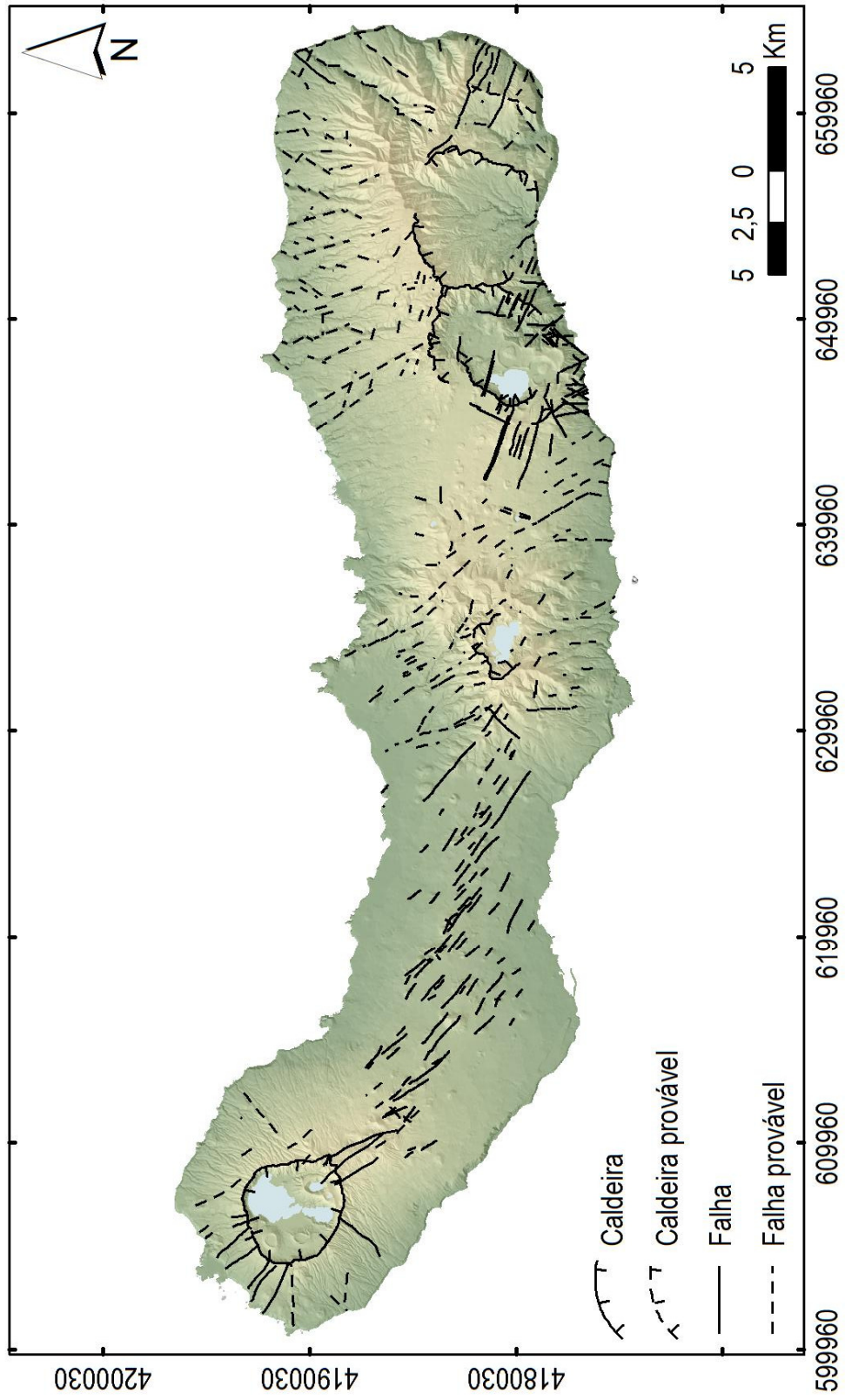


Figura 2.5. Principais estruturas tectónicas da ilha de S. Miguel (dados de Gaspar *et al.*, 1995; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo, 2004; Carmo *et al.*, 2009; Wallenstein *et al.*, 2004; Carmo, em preparação). Coordenadas U.T.M., zona 26S. (*in*: Pacheco *et al.*, 2011)

A tectónica do Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau é particularmente expressa através do designado *graben* da Ribeira Grande, uma estrutura de direcção geral NW-SE, que condiciona igualmente a geometria da depressão sumital, bem como a distribuição dos diversos cones de escórias, cones de pedra pomes, formas hidrovulcânicas e domos, no maciço (Wallenstein, 1999).

No interior da caldeira situa-se a designada Lagoa do Fogo, domos lávicos e um cone de pedra-pomes (Wallenstein, 1999). No flanco Noroeste do vulcão encontra-se bem marcado o designado *graben* da Ribeira Grande, uma estrutura tectónica de direcção geral NW-SE. Ao longo de outras fracturas regionais e de algumas falhas radiais podem observar-se cones de escórias, cones de pedra-pomes e domos lávicos. (Hipólito, 2009). No flanco S do vulcão, a par da direcção NW-SE, destacam-se estruturas com direcção N-S (Wallenstein, 1999; Viveiros, 2003).

Ferreira (2000) sugere que o cruzamento de um acidente profundo de orientação E-W, situado na zona leste do Sistema vulcânico da Região dos Picos, com a direcção regional materializada pelo *graben* da Ribeira Grande (Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000) tenha contribuído para a génese do Vulcão do Fogo.

No Planalto da Achada das Furnas, um dos sistemas de falhas mais importantes atravessa o vulcão com uma direcção WNW-ESE, estando materializado pelo alinhamento de alguns cones de escórias. Outras falhas, de direcção E-W, são depreendidas pela presença de vales bem encaixados paralelos ao maior eixo da ilha. Os limites da caldeira coincidem com os principais alinhamentos tectónicos, indicando que os colapsos da caldeira foram fortemente controlados pela tectónica local, em particular pelo sistema NE-SW (Silva, 2004).

Carmo (2004), ao desenvolver estudos de geologia estrutural na região Povoação-Nordeste, em São Miguel, verificou a existência de estruturas tectónicas com direcções e movimentações compatíveis com o campo de tensões transtensivo definido para a Plataforma dos Açores. Contudo, para além das estruturas referidas, também existem falhas de direcção WNW-ESE esquerdas normais conjugadas com falhas NE-SW direitas normais (constituídas por dois conjuntos de estruturas que inclinam em sentidos opostos), concordante com uma compressão máxima horizontal orientada segundo E-W, tracção máxima horizontal na direcção N-S e eixo vertical igualmente compressivo.

2.2.2. ACTIVIDADE VULCÂNICA

O enquadramento geodinâmico da região é responsável pela génese do arquipélago, com a elevação da plataforma dos Açores e consequente edificação das ilhas. À semelhança da actividade sísmica, a actividade vulcânica manifesta-se, preferencialmente, ao longo da Crista Médio-Atlântica e do designado *Rift* da Terceira. No entanto, não se registam erupções vulcânicas históricas nas ilhas de Santa Maria, da Graciosa, das Flores e do Corvo após o povoamento das mesmas (Antunes, 2009).

Segundo Queiroz (1997), os dados geológicos, nomeadamente os relacionados com a geocronologia, propõem 27 erupções históricas, 15 subaéreas e as restantes no mar ao largo das ilhas.

Na Figura 2.6, representam-se as erupções históricas que decorreram nos Açores.

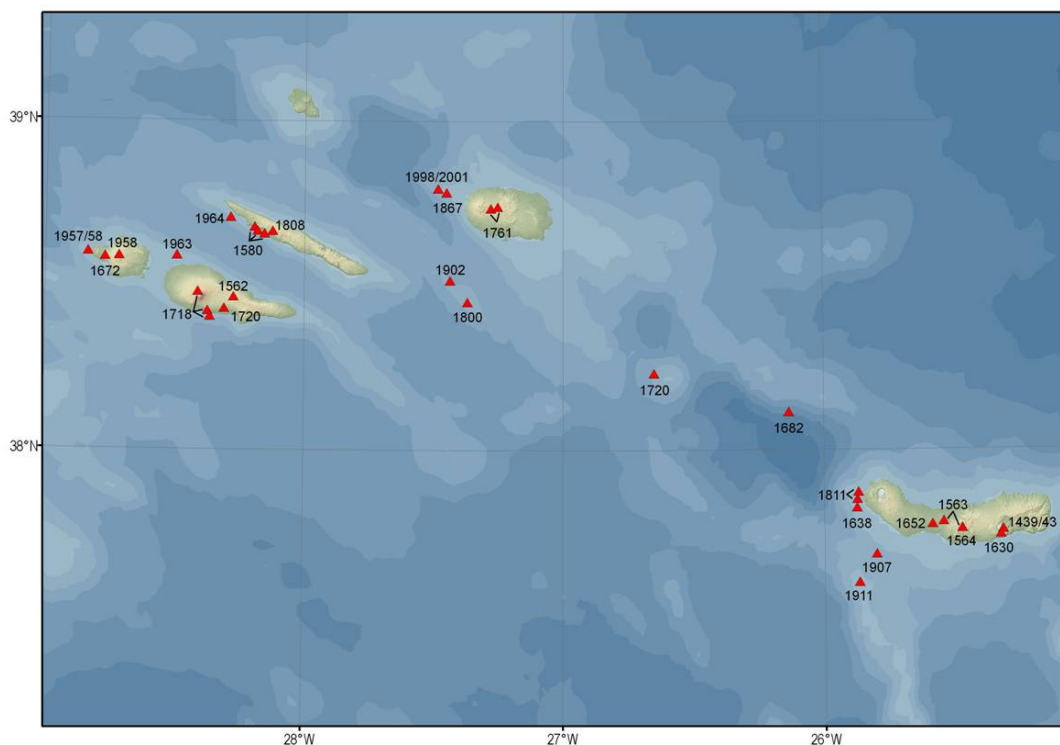


Figura 2.6. Erupções históricas registadas no Arquipélago dos Açores (modificado de Weston, 1964 com dados de Queiroz *et al.*, 1995, Queiroz, 1997 e Gaspar *et al.*, 2003) (imagem do CVARG, 2007).

A ilha São Miguel é a que registou um maior número de erupções vulcânicas, tanto em terra como no mar. No entanto, não é possível fazer um cálculo do período de retorno destes eventos para cada ilha devido, principalmente, ao espaço temporal em que as erupções vulcânicas ocorrem em cada ilha.

Actualmente, a actividade vulcânica nos Açores expressa-se pela ocorrência de manifestações de vulcanismo secundário nalgumas ilhas como nascentes de água mineral e fumarolas, nomeadamente, nas ilhas de São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, Pico e Flores, bem como por emanações gasosas submarinas, no Banco D. João de Castro, na Costa S da ilha de São Miguel, na costa E do Faial e de uma forma mais difusa na costa SSW da ilha das Flores.

2.2.3. ACTIVIDADE SÍSMICA

O Arquipélago dos Açores apresenta uma sismicidade importante no contexto nacional, que deriva do seu enquadramento geotectónico, inserido na junção tripla das Placas Euroasiática, Norte Americana e Africana. Essa actividade sísmica está associada quer à tectónica activa dos Açores, quer à actividade vulcânica uma vez que esta última pode ser antecedida e acompanhada de sismos (Nunes *et al.*, 2004).

O enquadramento geotectónico da região Açores confere uma actividade sísmica e magnitude geralmente baixas, com uma distribuição preferencial ao longo do *Rift* da Terceira (RT), numa direcção WNWESSE, desde a Crista Média Atlântica (CMO) até à Falha Gloria (Silva, 2005), como se pode verificar na carta de sismicidade epicentral dos Açores, de 1997 a 2010 (Figura 2.7).

Na Figura 2.8 podem observar-se as localizações epicentrais estimadas e/ou calculadas para os principais sismos históricos ocorridos nos Açores. Como se pode observar na Tabela 2.1, os fenómenos sísmicos foram responsáveis por mais de 6000 mortes desde o povoamento das ilhas. De entre os eventos mais significativos, há que destacar o sismo de 1522 que destruiu o centro da Vila Franca do Campo, causando a morte a cerca de 5000 pessoas (Silveira, 2002; Nunes *et al.*, 2004), e os sismos de 1614 na Praia da Vitória (Terceira) e de 1757 na Calheta (São Jorge) que também causaram muitas mortes. Mais recentemente, os sismos de 1980 e 1998 na Terceira e no Faial, respectivamente, provocaram uma grande destruição nestas ilhas e algumas mortes.

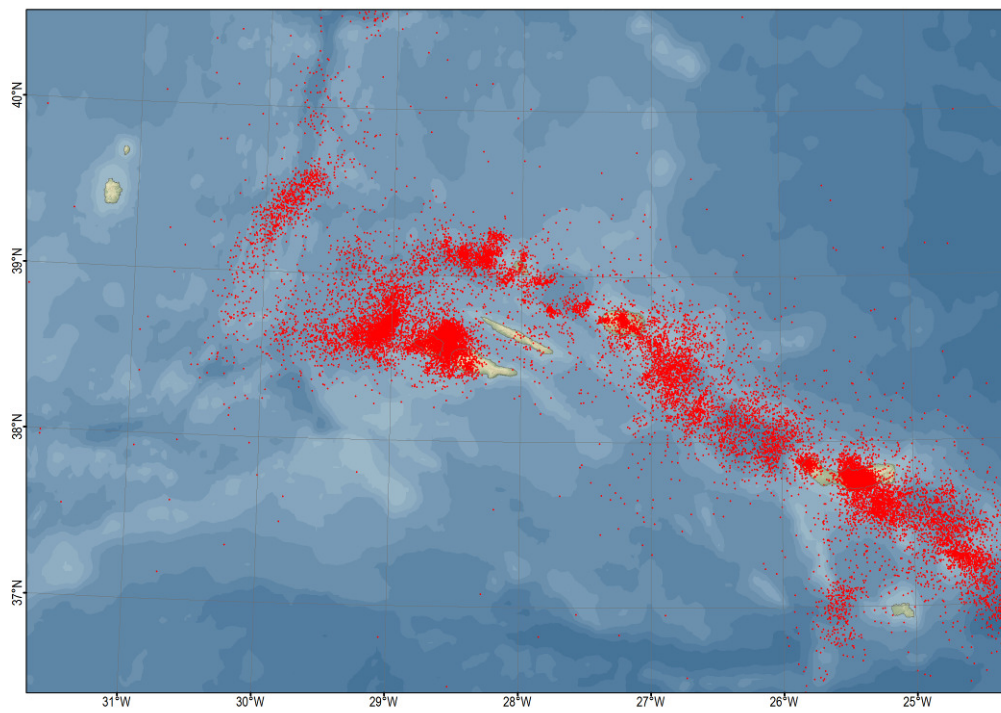


Figura 2.7. Carta epicentral dos eventos registados entre 1997 e 2010 no Arquipélago dos Açores (imagem do CIVISA, 2011).

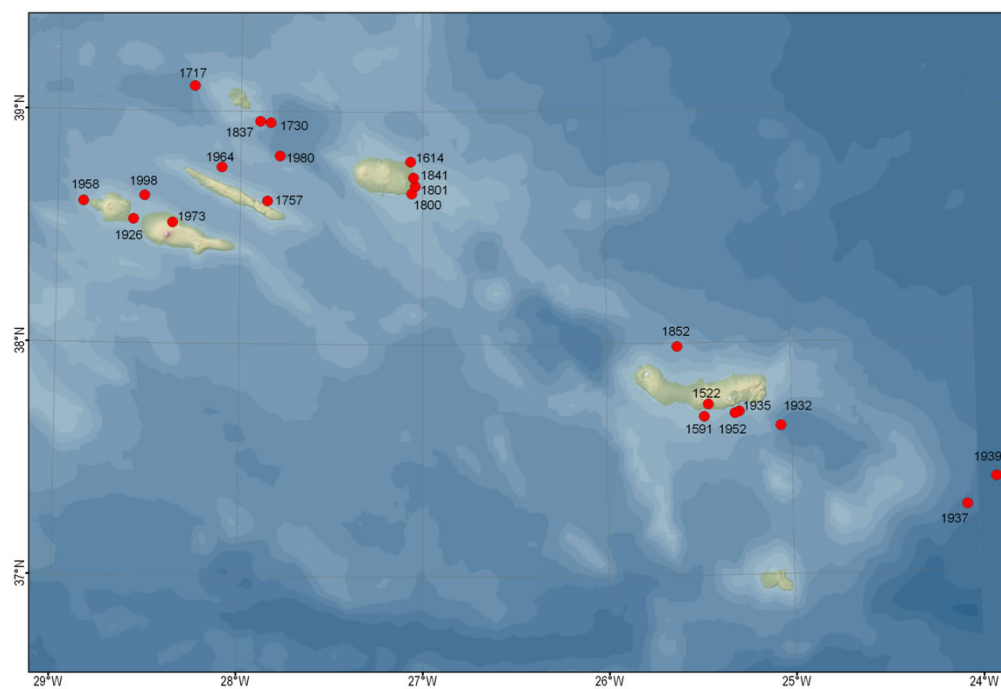


Figura 2.8. Sismos históricos registados no Arquipélago dos Açores (imagem do CVARG, 2007).

Tabela 2.1. Localização e consequências inerentes aos principais eventos sísmicos no arquipélago dos Açores, com intensidade superior a VII, na escala de Escala Mercalli Modificada (adaptado de Nunes *et al.*, 2004).

Data	Intensidade	Localidade/ Ilha mais afectada	Vítimas mortais
1522/10/22	X	V. Franca / S. Miguel	4000 a 5000
1547/05/17	VII-VIII	Zona N / Terceira	>3
1571/08/??	VII (?)	? / Terceira	
1591/07/26	VIII-IX	V. Franca / S. Miguel	"muitas"
1614/05/24	IX	P. Vitória / Terceira	>200
1713/12/08	VIII	Ginetes / S. Miguel	
1730/06/13	IX-X (?)	Luz / Graciosa	
1757/07/09	XI	Calheta / S. Jorge	1046
1800/06/24	VII-VIII	P. Vitória Terceira	0
1801/01/26	VIII	S. Sebastião / Terceira	2
1837/01/21	IX (?)	Guadalupe e S. Cruz / Graciosa	3
1841/06/15	IX	P. Vitória / Terceira	0
1852/04/16	VIII	Ribeira Grande / S. Miguel	9 a 12
1881/02/09	VII (?)	Povoação / Miguel	1
1912/01/26	VII	A. Heroísmo/ Terceira	
1912/11/06	VII/VIII	P. Vitória / Terceira	
1926/08/31	X	Horta / Faial	9
1935/04/27	VII	Povoação / S. Miguel	
1937/11/21	VII	S. Espírito / S. Maria	1
1939/05/08	VII	S. Espírito / S. Maria e Ribeira Quente / S. Miguel	
1945/06/15	VII	Capelo / Faial	
1946/12/27	VII-VIII	Serreta / Terceira	
1950/12/29	VII	Aqualva/Terceira	
1952/06/26	VII	Povoação e R. Quente / S. Miguel	
1952/06/26	VIII	Ribeira Quente / S. Miguel	
1958/05/13	VIII-IX	Praia Norte e R. Funda /Faial	
1964/02/21	VIII	Rosais / S. Jorge	
1967/08/10	VII	Monte Escuro / S. Miguel	
1968/06/17	VII	Várzea / S. Miguel	
1973/11/23	VII-VIII	Bandeiras / Pico	
1980/01/01	VIII-IX	Doze Ribeiras / Terceira	61
1998/07/09	VIII-IX	Ribeirinha / Faial	8

2.3. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO E VULCANOLÓGICO

Segundo Zbyszewski (1959 e 1961) existem oito unidades geomorfológicas definidas para a ilha de São Miguel (Figura 2.9).

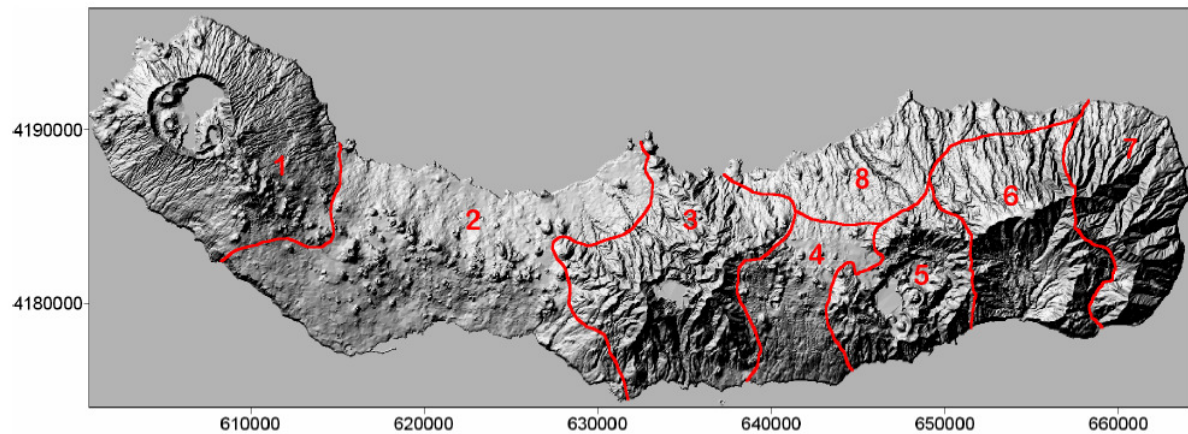


Figura 2.9. Regiões geomorfológicas definidas por Zbyszewski (1959 e 1961) e designadas por : 1 - Maciço Vulcânico das Sete Cidades; 2 -Região dos Picos; 3 - Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau; 4 - Planalto da Achada das Furnas; 5 - Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Região da Tronqueira e do Nordeste e 8 - Plataforma Litoral do Norte (Projeção em U.T.M., zona 26S)

O Maciço das Sete Cidades tem uma área aproximada de 110 km² e o ponto de cota mais elevada corresponde ao vértice geodésico do Pico das Éguas (874 m). Ocupa o extremo Oeste da ilha e a sua morfologia resulta de inúmeros fenómenos vulcânicos e tectónicos, aliados a uma significativa actividade erosiva. De uma forma geral, o maciço das Sete Cidades representa um vulcão central com caldeira, onde se identificam pontualmente diversos cones de escórias, cones de pedra-pomes, e *maars* (s.l.) e domos (Figura 2.10). No decurso da história eruptiva do vulcão, registaram-se eventos tanto explosivos como efusivos, tendo o material extruído dado origem a depósitos vulcanoclásticos e a escoadas lávicas (Ferreira, 2000).

O Maciço Vulcânico das Sete Cidades coalesce, a SE, com a Região dos Picos (Figura 2.11), uma zona marcada pela presença de diferentes alinhamentos de cones de escórias (Queiroz, 1997). A Região dos Picos situa-se na metade ocidental da ilha, com uma área de cerca de 200 km², apresentando uma zona axial de direcção geral NW-SE (Figura 2.12), com cerca de 23 km de extensão, definida pelo alinhamento dos cones de escórias a partir dos quais se desenvolveram as escoadas lávicas de leve inclinação que se desenvolve para Norte e Sul.

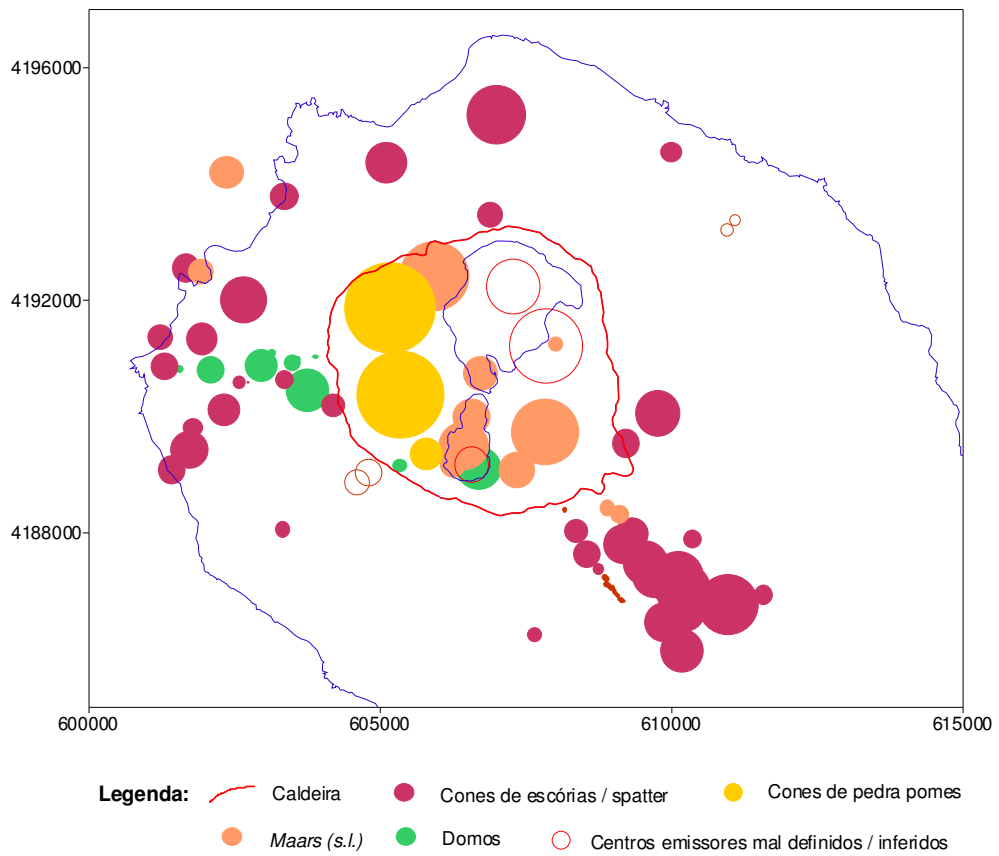


Figura 2.10. Distribuição dos centros eruptivos no maciço das Sete Cidades (Queiroz, 1997).

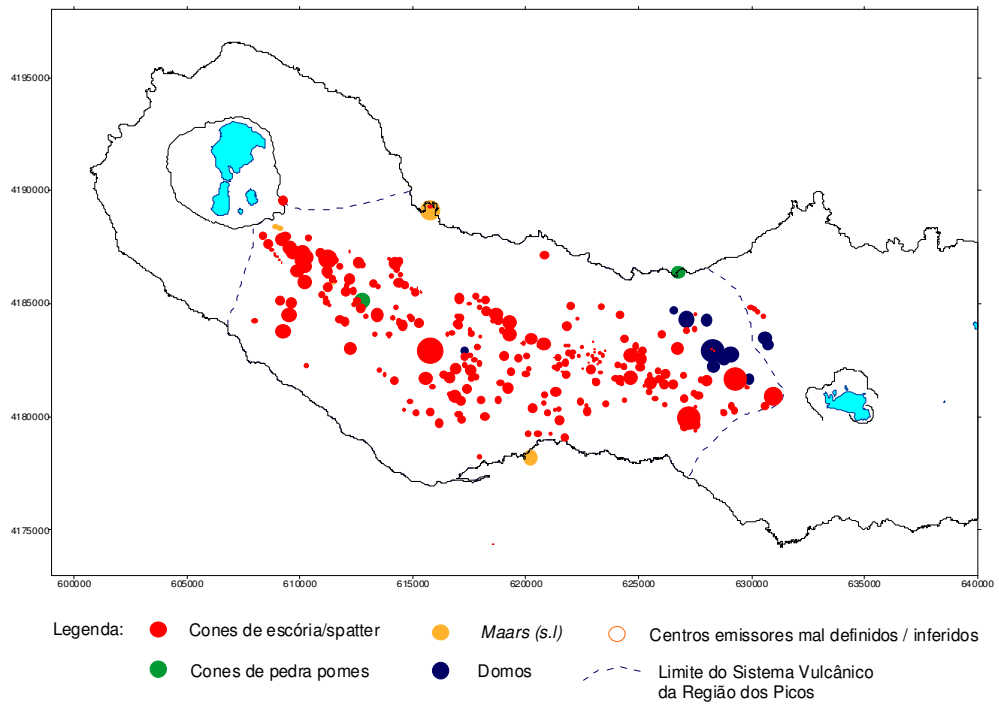


Figura 2.11. Distribuição dos centros eruptivos no sistema Vulcânico da Região dos Picos (Ferreira, 2000).



Figura 2.12. Vista da Região dos Picos, a partir do Vulcão do Fogo, em que é possível observar os cones de escórias alinhados segunda uma direcção NW-SE. Ao fundo pode ver-se o Maciço das Sete Cidades (fotografia de Coutinho).

Segundo Ferreira (2000), as erupções no Sistema Vulcânico da Região dos Picos evidenciam um carácter fissural. Ferreira (2000) considera ainda uma divisão da região geomorfológica dos Picos em duas subunidades, a subunidade de Ponta Delgada e subunidade do Pinhal da Paz. A primeira inclui todos os centros eruptivos e produtos vulcânicos mais antigos, formados desde a fase de emergência até há 5000 anos, com maior manifestação no lado Sul, entre as Feteiras e a cidade de Ponta Delgada. A segunda subunidade abrange todos os centros e produtos vulcânicos produzidos nos últimos 5000 anos, com maior manifestação no lado Norte.

O Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau, vulgo Maciço do Fogo, ocupa uma área de cerca de 132 km² e o seu ponto mais alto situa-se no vértice geodésico do Pico da Barrosa (947 m). A morfologia é representada por um vulcão central com caldeira (Figura 2.13) e apresenta-se intensamente sulcada por profundas linhas de água que, de acordo com Wallenstein (1999) apresentam distribuições cuja orientações que reflectem um controlo estrutural nítido.

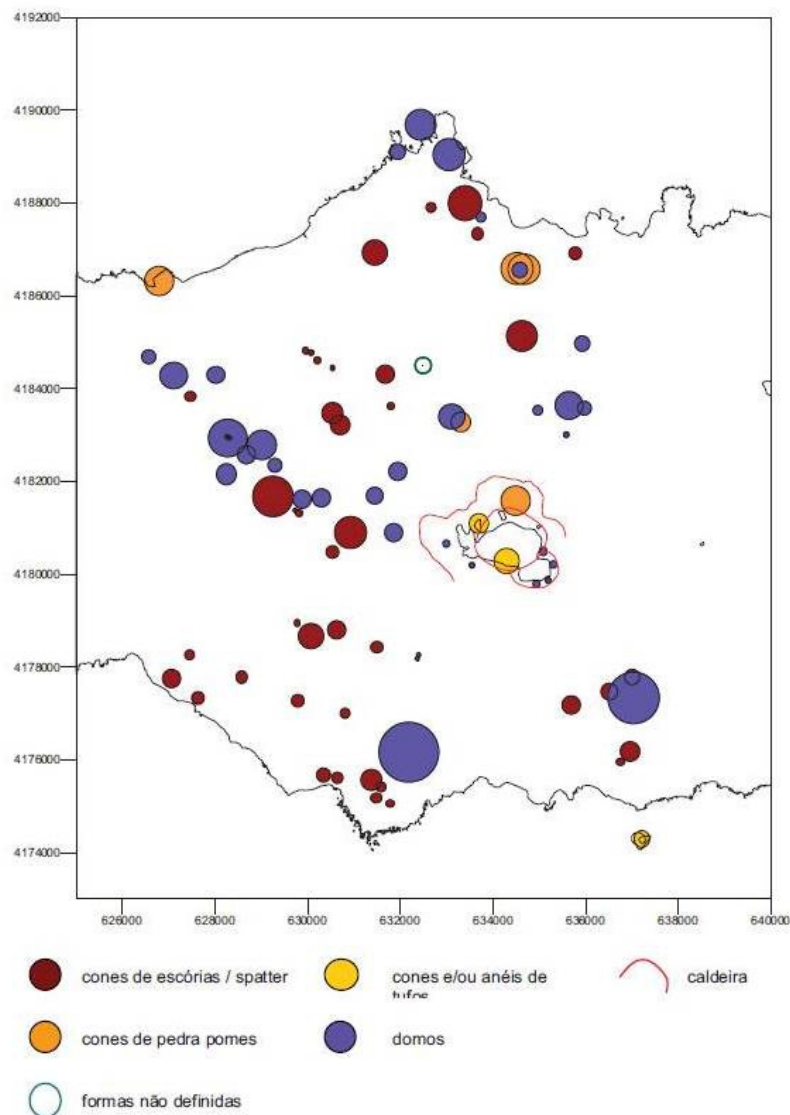


Figura 2.13. Distribuição dos centros eruptivos no Maciço Vulcânico do Fogo (Wallenstein, 1999).

O vulcão central do Fogo apresenta uma morfologia cónica típica de vulcões centrais explosivos (Wallenstein, 1999). No interior da caldeira situa-se a designada Lagoa do Fogo (Figura 2.14) e podem observar-se domos lávicos e um cone de pedra-pomes (Medeiros, 2009).

O Planalto da Achada das Furnas (Figura 2.15), cuja altitude média é de cerca de 400 a 500 m, corresponde a uma região cuja zona central é relativamente aplanada e assinalada pela presença de cones de escórias e *maars* (s.l.), dispostos numa direcção predominante WNW-ESE a NW-SE.



Figura 2.14. Vista da Lagoa do Fogo podendo observar-se, ao fundo, um dos domos de natureza traquítica (fotografia de Coutinho).



Figura 2.15. Vista do Planalto da Achada com o Vulcão do Fogo em primeiro plano (fotografia de Coutinho).

O Vulcão das Furnas (Figura 2.16) fica situado no sector leste da ilha de São Miguel e corresponde a um vulcão central poligenético, onde se reconhecem duas caldeiras (Cole *et al.*, 1995), com várias fases de formação que incluem fenómenos de colapso e explosão (Gaspar *et al.*, 1995). No interior da caldeira, além da Lagoa das Furnas, observam-se numerosos cones de pedra-pomes, *maars* (s.l.), domos e cones de escórias (Medeiros, 2009). Sendo um vulcão activo com desgaseificação, o Vulcão das Furnas apresenta quatro campos fumarólicos principais e várias nascentes termais e de águas frias gasocarbónicas, fruto do sistema hidrotermal que lhe está associado (Viveiros, 2003).



Figura 2.16. Vista do Vulcão das Furnas, a partir do Salto do Cavalo, podendo observar-se em primeiro plano a freguesia das Furnas e, ao fundo, a lagoa das Furnas (fotografia de Coutinho).

O vulcão da Povoação (Figura 2.17) é um vulcão central com caldeira, apresenta uma grande depressão central muito erodida e truncado a Sul ao longo da actual linha de costa. As arribas litorais, com alturas entre 200 e 400 m, apresentam-se bastante fracturadas, evidenciando acidentes tectónicos de direcção dominante WNW-ESE e, menos frequentemente, E-W e N-S (Carmo, 2004).

No interior da caldeira, definida pela existência de diversas linhas de água bem entalhadas, identificam-se alguns cones de escórias (Medeiros, 2009).



Figura 2.17. Vista do Vulcão da Povoação de NW para SE (esquerda) e de E para W (direita) (fotografias de Coutinho).

A Região da Tronqueira (Figura 2.18) ocupa a extremidade leste da ilha e corresponde a uma região montanhosa sulcada por profundos vales de erosão que poderão identificar fracturas tectónicas relevantes (Medeiros, 2009).



Figura 2.18. Vista da Região da Tronqueira e dos vales encaixados (fotografia de Coutinho).

A plataforma litoral Norte corresponde a uma zona de declive moderado que se estende ao longo da costa Norte na extensão dos vulcões das Furnas, Povoação e Nordeste (Medeiros, 2009).

As captações dos SMAS, localizadas nos concelhos de Ponta Delgada, de Lagoa e de Vila Franca do Campo, incorporam três regiões geomorfológicas distintas, o Maciço Vulcânico das Sete Cidades, a Região dos Picos e o Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau, correspondendo às três unidades vulcanoestratigráficas, Complexo Vulcânico das Sete Cidades, Complexo Vulcânico dos Picos e Complexo Vulcânico do Fogo (Coutinho, 1990; Wallenstein, 1999; Costa, 2006; Forjaz, 2008).

2.4. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O inventário de pontos de água subterrânea realizado no âmbito do Plano Regional da Água permitiu referenciar a existência de 950 nascentes e 83 furos no arquipélago dos Açores (Cruz, 2001a *in* Cruz, 2002a). Na Ilha de São Miguel, encontram-se inventariadas 420 nascentes e 18 furos (Cruz, 2001).

A distribuição de nascentes no arquipélago apresenta grandes assimetrias, resultado da influência de factores geomorfológicos e climáticos e do comportamento hidrogeológico do meio vulcânico, o que é demonstrado pela variação de densidade de pontos de água subterrânea encontrada nas diferentes ilhas (Cruz, 2001a *in* Cruz, 2002). Factores como a génese, o modo de jazida e o estado de alteração, bem como a idade e história tectónica, condicionam a circulação das águas em rochas vulcânicas (Cruz, 2004 *in* Costa, 2006).

As condições hidrogeológicas em regiões vulcânicas, marcadas por uma acentuada heterogeneidade, relacionam-se primariamente com os tipos de rochas que constituem o substrato regional e, secundariamente, com a alteração e a fracturação destas rochas (Cruz, 2004 *in* Cruz, 2002a; Cruz, 2002b).

A alteração química dos materiais pode reduzir a permeabilidade das rochas, caso ocorra a formação de minerais do grupo das argilas. Contudo, a existência de descontinuidades (níveis impermeáveis) e de corpos filonianos, e a fracturação das rochas contribuem para a compartimentação dos sistemas. As descontinuidades impermeáveis podem alterar o regime do fluxo das águas subterrâneas,

proporcionando a emergência de nascentes nas vertentes dos aparelhos vulcânicos (Cruz, 2004 *in* Costa, 2006).

O meio vulcânico revela um elevado grau de compartimentação dos sistemas aquíferos, e por outro lado é muito reactivo, o que se reflecte nas características hidrogeoquímicas da água.

As rochas vulcânicas, quando permeáveis, formam aquíferos do tipo fissurado, geralmente associados às escoadas lávicas e escoadas piroclásticas consolidadas, e aquíferos do tipo poroso em formações piroclásticas não consolidadas. Os primeiros estão relacionados com permeabilidade secundária representada por numerosas fissuras, resultantes do próprio processo de arrefecimento, e por fracturas e falhas relacionadas com a actividade tectónica. No que concerne aos aquíferos do tipo poroso, os depósitos piroclásticos apresentam um comportamento hidrogeológico idêntico ao das rochas sedimentares não consolidadas, em que a sua permeabilidade depende das características primárias.

Sendo assim, as ilhas vulcânicas proporcionam a existência de dois tipos de aquíferos distintos: aquíferos de base e aquíferos suspensos ou de altitude.

Os aquíferos de base estão associados à zona saturada, correspondendo ao corpo lenticular de água doce que flutua sobre a água salgada mais densa, sendo alimentado directamente a partir da precipitação ou pela transferência hídrica a partir de aquíferos de altitude. Estes últimos situam-se na zona não saturada e surgem associados a níveis impermeáveis sem significativa continuidade lateral (Costa, 2006).

Destaca-se, ainda, que em ilhas o sistema aquífero basal é limitado perifericamente pelo mar e, em numerosas ilhas vulcânicas, apresenta geralmente um gradiente hidráulico muito baixo, o que implica um constrangimento sobre a exploração dos aquíferos e um significativo impacto sobre a qualidade dos recursos. (Cruz, 2002b).

Estima-se que o volume total de recursos hídricos subterrâneos na ilha de São Miguel atinja os $369,7 \times 10^6$ m³/ano, correspondendo a cerca de 23% do total apurado nos Açores (Cruz, 2001).

2.4.1 SISTEMAS AQUÍFEROS

Um sistema aquífero integra um ou mais aquíferos, não necessariamente relacionados, com limites em superfície e em profundidade, constituindo uma unidade de investigação ou exploração (Navarro *et al.*, 1989), sendo que um aquífero constitui a formação geológica que permite a circulação de água subterrânea.

Os sistemas aquíferos do arquipélago dos Açores foram delimitados no Plano Regional da Água de acordo com critérios de carácter geológico, como a vulcanoestratigrafia, a litologia, os condicionamentos tectónicos e os aspectos hidrogeológicos, tais como as características gerais de funcionamento, a produtividade dos caudais específicos e os parâmetros hidráulicos (Cruz, 2001a *in* Costa, 2006).

Na Figura 2.19 apresenta-se a distribuição espacial dos sistemas aquíferos da ilha de São Miguel, cuja caracterização está patente na Tabela 2.2.



Figura 2.19. Distribuição espacial dos sistemas aquíferos na ilha de São Miguel (adaptado de Cruz, 2001).

Tabela 2.2 – Caracterização dos sistemas aquíferos da ilha de São Miguel (adaptado de Cruz, 2001a in Costa, 2006).

SISTEMA AQUÍFERO	LITOLOGIAS DOMINANTES	CARACTERÍSTICAS GERAIS
Sete Cidades	Escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas <i>s.l.</i> ; <i>mudflows</i> ; cobertura piroclástica indiferenciada.	Sistema misto, basal e de altitude, constituído por aquíferos porosos e fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidráulicamente aos aquíferos de base, porosos e fissurados, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou em função de aparelhos vulcânicos secundários, sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.
Achada	Escoadas lávicas basálticas <i>s.l.</i> , cones de escórias; cobertura de piroclastos indiferenciados	Sistema misto, basal e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidráulicamente aos aquíferos de base, porosos e fissurados, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou em função de aparelhos vulcânicos secundários, sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico
Água de Pau	Escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra-pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas <i>s.l.</i> ; <i>mudflows</i> ; cobertura piroclástica indiferenciada.	Sistema misto, basal e de altitude, constituído por aquíferos porosos e fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidráulicamente aos aquíferos de base, porosos e fissurados, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou em função de aparelhos vulcânicos secundários, sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.
Furnas – Povoação	Escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra-pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas <i>s.l.</i> ; <i>mudflows</i> ; cobertura piroclástica indiferenciada.	Sistema misto, basal e de altitude, constituído por aquíferos porosos e fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidráulicamente aos aquíferos de base, porosos e fissurados, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou em função de aparelhos vulcânicos secundários, sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.
Nordeste – Faial da Terra	Escoadas lávicas e depósitos piroclásticos basálticos sub aéreos intercalados; grau de alteração superior aos restantes sistemas aquíferos.	Sistema misto, basal e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidráulicamente aos aquíferos de base, porosos e fissurados, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida.
Ponta Delgada – Fenais da Luz	Escoadas lávicas basálticas <i>s.l.</i> intercalados com níveis piroclásticos; depósitos piroclásticos basálticos sub aéreos relacionados com aparelhos vulcânicos secundários.	Sistema basal constituído por aquíferos predominantemente fissurados; aquíferos de altitude, descontínuos, dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou em função de aparelhos vulcânicos secundários, sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

2.4.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS

A avaliação dos aspectos climáticos que influenciam os Açores, e em particular, a ilha de São Miguel, constitui uma ferramenta bastante importante na análise quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos e, em especial, dos recursos hídricos subterrâneos alvo deste estudo.

O clima dos Açores está intimamente associado ao enquadramento geográfico desta região no Oceano Atlântico-Norte, sendo considerado como temperado marinho, o que se reflecte pela baixa amplitude térmica, elevada pluviosidade e humidade relativa e ventos persistentes. As condições dinâmicas específicas de circulação atmosférica, conjugadas com as condições geográficas locais, o relevo das ilhas e as massas oceânicas envolventes, oferece-nos um clima marcado por um contraste bem evidente entre uma estação fria e húmida e uma estação quente e seca (Ferreira, 1980; Cruz, 2002a; Costa, 2006).

No que se refere à ilha de São Miguel, a temperatura média anual do ar varia entre 17.3°C, em Ponta Delgada, apresentando valores de 11°C a 12°C nas áreas cuja cota ultrapassa os 800 a 900 m de altitude. A amplitude térmica anual é baixa, não ultrapassando os 8°C a 9°C.

As temperaturas médias mensais mais elevadas são registadas no mês de Agosto, atingindo valores de, aproximadamente, 22°C no litoral, enquanto que as temperaturas mais frias são registadas no mês de Fevereiro, com um mínimo de 5°C em zonas de elevada altitude (Ricardo *et al.*, 1977).

Em relação à precipitação atmosférica, os valores totais anuais aumentam com a altitude, sendo que os mais elevados são verificados na metade Este da ilha, relativamente ao sector Oeste, sendo também superiores na costa Norte, em relação à costa S (Ricardo *et al.*, 1977).

Na região cimeira das Sete Cidades e na zona que une o vulcão do Fogo à Serra da Tronqueira, para Este, a pluviosidade é superior a 1700 mm/ano, sendo que os valores máximos podem atingir os 3000 mm/ano (Ricardo *et al.*, 1977). No maciço do Fogo são atingidos valores superiores a 3000 mm/ano (Rodrigues, 1995; DROTRH-INAG, 2001).

A humidade relativa do ar varia em função da altitude, sendo que valores mais baixos, da ordem de 77% a 78%, são verificados em zonas de baixa altitude, enquanto que os valores mais elevados, da ordem de 87% a 88% são verificados em zonas de elevada altitude.

Nos termos da classificação climática de Thorntwaite (1948), o clima de São Miguel pode ser classificado como sendo de tipo húmido e super-húmido. A utilização da classificação de Köpen permite concluir que o clima é mesotérmico húmido, com estações secas no verão (Ricardo *et al.*, 1977).

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE PONTA DELGADA

O sistema de abastecimento de água de Ponta Delgada é constituído por 25 zonas, 23 das quais em baixa e duas em alta, nomeadamente o abastecimento aos concelhos de Ribeira Grande e de Lagoa.

O abastecimento em baixa consiste no fornecimento de água até à torneira do consumidor, incluindo o seu percurso até este ponto, enquanto que o abastecimento em alta termina com a adução de água até um ponto de entrega a partir do qual a responsabilidade passa a ser de outra entidade gestora.

Toda a água captada para consumo humano pelos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Ponta Delgada é de origem subterrânea, na sua maioria com circulação pouco profunda, originando águas pouco mineralizadas. A sua forma de captação é efectuada por gravidade (captação de nascentes) e por elevação (furos de captação). No total, são exploradas, actualmente, 45 captações de nascente e três furos de captação, origens destinadas ao consumo humano. Na Tabela 3.1 apresenta-se o inventário das captações de água subterrânea exploradas pelo município e na Tabela 3.2 apresenta-se a sua distribuição pelas diferentes zonas de abastecimento.

Tabela 3.1. Listagem das captações de água subterrânea exploradas pelos SMAS de Ponta Delgada (dados fornecidos pelos SMAS de Ponta Delgada; 1- Desactivada por falta de caudal; 2- Não utilizada para consumo humano).

DESIGNAÇÃO		FREGUESIA		DESIGNAÇÃO	FREGUESIA
1	Ribeira da Praia	Água D'Alto	26	Ribeira do Ferreiro (I a VIII)	Candelária
2	Galeria de Mina	Água D'Alto	27	Pico do Faial	Ginetes
3	Ribeira dos Passarinhos	Água D'Alto	28	Moinhos	Mosteiros
4	Grota do Lanço	Água de Pau	29	Figueira	Mosteiros
5	Lourinhos I	Água de Pau	30	Margem Adutora	Mosteiros
6	Lourinhos II	Água de Pau	31	Garcia	Mosteiros
7	Janelas do Inferno	Água de Pau	32	Pedras Brancas	Sete Cidades
8	Furo JK3	S. Pedro	33	Moinhos	Sete Cidades
9	Canário - Poço	Sto. António	34	Rêgo	Sete Cidades
10	Canário	Sto. António	35	Casmol	Bretanha
11	Canário - Excedentes	Sto. António	36	Mata dos Lagos	Bretanha
12	Água Nova	Relva	37	Salto da Estrela	Sete Cidades

13	Furo da Lagoa do Conde	Arrifes	38	Furo JK2	S. Vicente
14	Cerrado da Fonte	Feteiras	39	Rocha de Santo António (Fonte Grande) ²	Sto. António
15	Chã dos Tanques	Feteiras	40	Rocha de Santo António (Calha)	Sto. António
16	Cerrado da Areia ¹	Feteiras	41	Couto	Sto. António
17	Tio Melo	Feteiras	42	Tamujal	Sto. António
18	Nicolau Maria	Ginetes	43	Rabaças	Sto. António
19	Paraíso	Candelária	44	Agriões	Sto. António
20	Tio Santos	Candelária	45	Fontainhas	Capelas
21	José Cabral	Candelária	46	Chã das Fontes	Capelas
22	Mestre António Carvalhal	Candelária	47	Curvos	Sto. António
23	Carvalhal	Candelária	48	Ferreiros	Sto. António
24	Pinguinhas	Candelária	49	Roçados	Sto. António
25	Espigão Alto	Ginetes	50	Criações	Capelas

Tabela 3.2. Captações de água subterrânea explorados pelos SMAS de Ponta Delgada por Zona de Abastecimento (Z.A.) (de acordo com os SMAS de Ponta Delgada, as nascentes de Casa Velho e Cabouco, de momento estão desactivadas).

Z.A.	ORIGENS	Z.A.	ORIGENS	Z.A.	ORIGENS	Z.A.	ORIGENS			
Arrifes	Ribeira da Praia	Chã do Rego de Água e São Roque	Janelas do Inferno	Mosteiros - Norte	Moinhos (Mosteiros)	São Sebastião e São Pedro	Janelas do Inferno			
	Ribeira dos Passarinhos		Grota do Lanço		Figueira		Grota do Lanço			
	Galeria de Mina		Lourinhos 1		Margem da adutora		Lourinhos 1			
	AC-LC1		Lourinhos 2	Garcia	Lourinhos 2					
Bretanha e Remédios	Mata dos Lagos		Ribeira da Praia	Ribeira dos Passarinhos	Mosteiros - Sul		Casa velha	JK3	JK3	
	Casmol		Galeria de Mina	Ribeira da Praia			Cabouco			
	Moinhos (Sete Cidades)		Ribeira dos Passarinhos	Ribeira da Praia	Moinhos (Sete Cidades)		Ribeira da Praia			
	Salto da estrela		Galeria de Mina	Galeria de Mina	Salto da estrela		Ribeira dos Passarinhos			
Cabouco	Lourinhos 1		Fajã de Baixo	Ribeira dos Passarinhos	Mosteiros e Bretanha		Poço		São Vicente e Fenais da Luz	Galeria de Mina
	Lourinhos 2			Janelas do Inferno			Canário			Ribeira da Praia
	Janelas do Inferno	Grota do Lanço		Água Nova		Ribeira da Praia				
	Grota do Lanço	Lourinhos 1		Ribeira da Praia		Galeria de Mina				
Ribeira do Ferreiro	Lourinhos 2	Ribeira dos Passarinhos		Ribeira dos Passarinhos						
Paraíso	Ribeira da Praia	Rocha de Sto António (Fonte)		Rocha de Sto António (Fonte grande + calha)						
Candelária	Tio Santos	Fajã de Cima	Galeria de Mina	Santa Bárbara e Remédios	Ribeira da Praia + Passarinhos	Sete Cidades	Pedras Brancas			
	Carvalhal		Ribeira dos Passarinhos		Ribeira da Praia		Rego			
	Pinguinhas		Cerrado da Fonte		Galeria de Mina		Várzea	Nicolau Maria		
	Mestre António Carvalhal	Cerrado da Areia	Ribeira dos Passarinhos		Pico do Faial					
	Curvos	Poço	Canário	Espigão Alto						
Ferreiros	Canário	Água Nova	Rocha de Sto António (Fonte grande + calha)							
Capelas	Roçados	Feteiras - Zona Alta	Chã dos Tanques	Santo António e Capelas	Ribeira da Praia + Galeria de Mina	Entrega em alta ao Concelho da Ribeira Grande	Janelas do Inferno			
	Criações		Tio Melo		Couto		Grota do Lanço			
Maranhão	Chã das Fontes		Feteiras - Zona Baixa	Tio Melo	São José		Janelas do Inferno	Janelas do Inferno		
Fontainhas	Ginetes						Nicolau Maria	Grota do Lanço	Grota do Lanço	
Curvos		Pico do Faial	Lourinhos 1	Lourinhos 1						
Ferreiros			Ribeira da Praia	Lourinhos 2						
Capelas	Roçados	Livramento	Ribeira da Praia	Ribeira dos Passarinhos	Ribeira da Praia	Ribeira dos Passarinhos				
-	Criações		Galeria de Mina	Galeria de Mina	AC-LC1	Galeria de Mina				
Monte Alegre	Ribeira da Praia	JK2	Ribeira dos Passarinhos							
	Galeria de Mina									
	Ribeira dos Passarinhos									
	JK2									

As emergências de água exploradas são, em alguns casos, agrupadas e tratadas como uma única captação, situação que ocorre quando as nascentes se encontram relativamente próximas e convergem para a mesma conduta adutora. O grupo de captações que merece maior destaque é a Ribeira da Praia, que inclui 30 captações, em que três delas fazem parte deste estudo. A Ribeira do Ferreiro, localizada na freguesia da Candelária, também é um grupo de captações relativamente grande, incluindo oito captações, assim como o Canário, que inclui cerca de sete captações. O Canário-Poço, é uma única captação, captada num poço, e o Canário-Excedentes, é uma junção do remanescente não captado das captações do Canário, sendo considerado pelos SMAS como captação e, portanto, considerada como tal neste estudo.

3.1. BALANÇO DAS NECESSIDADES/DISPONIBILIDADES DE ÁGUA

De forma a estudar a produção das nascentes e dos furos explorados pelos SMAS, compilaram-se, em séries temporais, os caudais mensais debitados de 2000 a 2010, o que inclui os volumes medidos no âmbito deste trabalho. Estas medições foram realizadas nos dias de colheita das amostras de água submetidas à determinação de diversos parâmetros físico-químicos que conduziram à caracterização hidrogeoquímica das águas captadas.

Nas Figuras 3.1 a 3.45, estão representadas as séries temporais relativas aos caudais médios anuais produzidos pelas captações exploradas pelos SMAS, de 2000 a 2010, inclusive, expressos em m³/dia. Aplicando um tratamento estatístico descritivo aos valores apresentados como caudais totais anuais por captação, no período referido, obtém-se o gráfico apresentado na Figura 3.46.

Note-se que a captação designada por Ribeira da Praia, representando 30 captações de nascente, é a mais produtiva, representando 19,4% da água captada e, em conjunto com as captações designadas por Ribeira dos Passarinhos (uma captação nascente) e por Galeria de Mina (uma captação de nascente), Lourinhos I e II (seis captações de nascente), Grota do Lanço (10 captações de nascente) e Janelas do Inferno (três captações de nascente), representam 54,1% da área total abastecida pelos SMAS, o que significa que as captações existentes no maciço da Lagoa do Fogo representam mais de metade da água utilizada para abastecimento público de água.

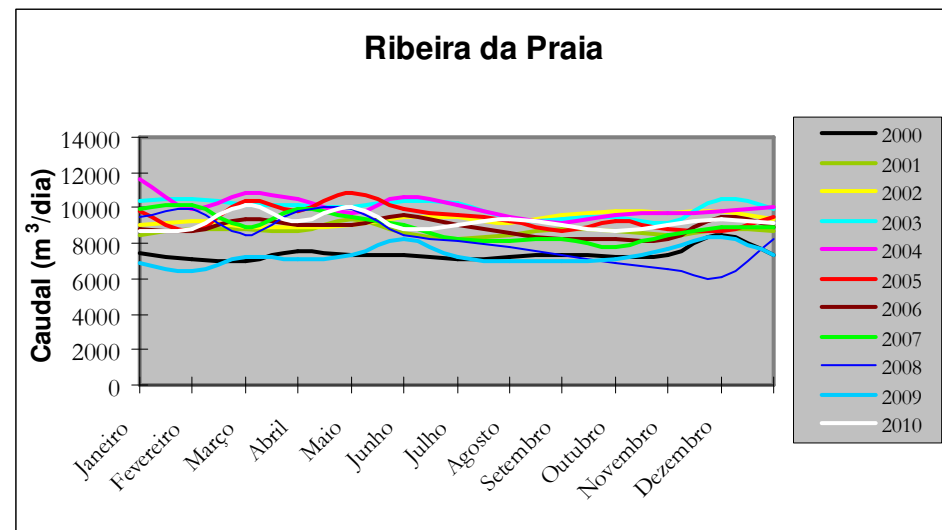


Figura 3.1. Evolução de caudal na captação Ribeira da Praia.

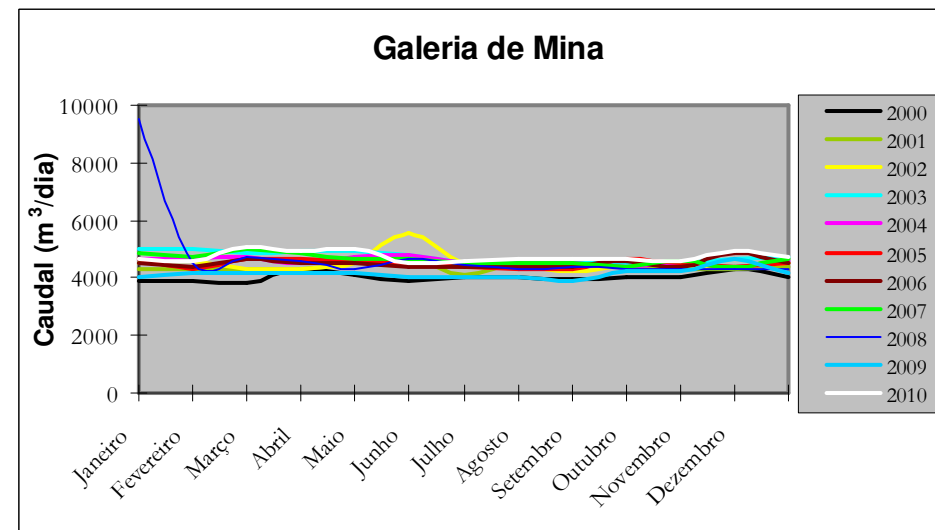


Figura 3.2. Evolução de caudal na captação Galeria de Mina.

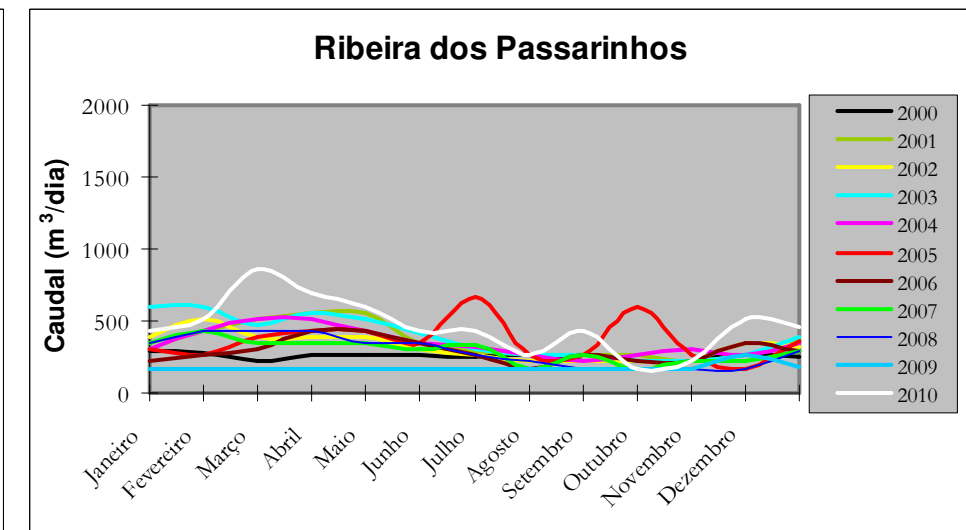


Figura 3.3. Evolução de caudal na captação Ribeira dos Passarinhos.

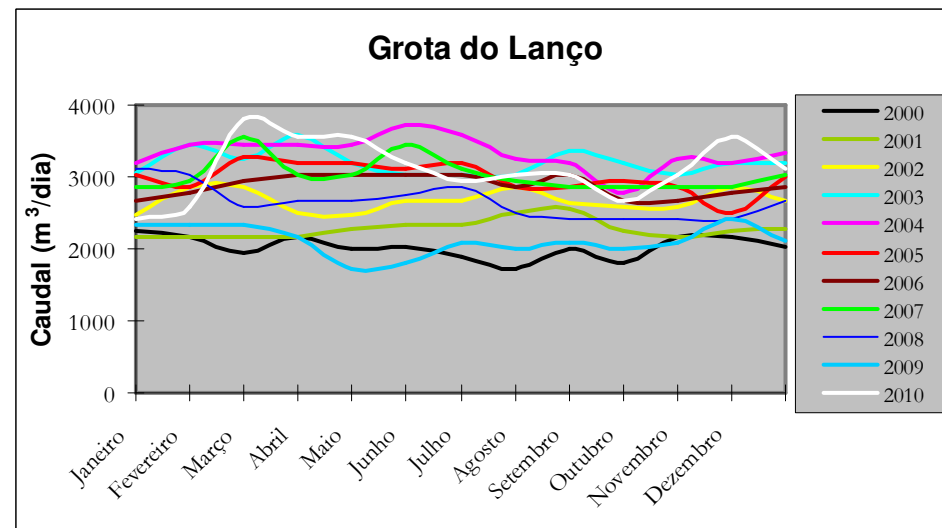


Figura 3.4. Evolução de caudal na captação Grotta do Lanço.

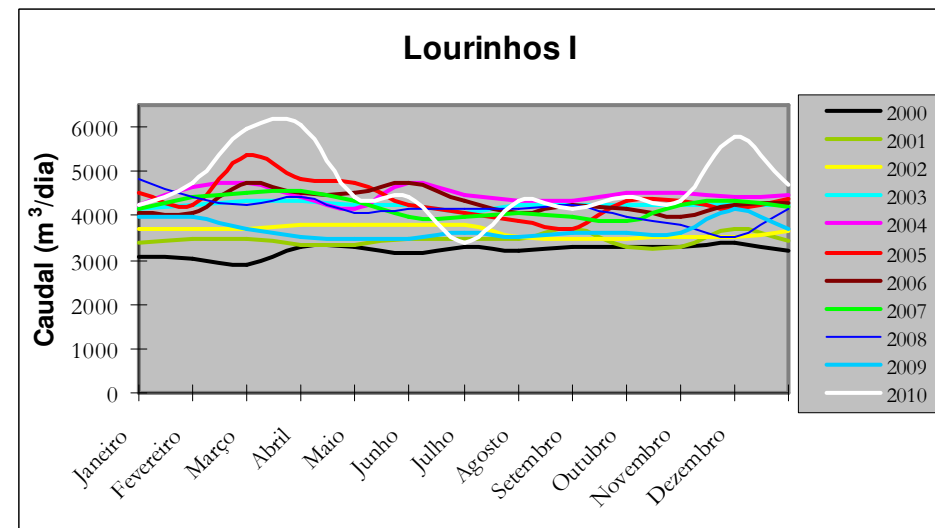


Figura 3.5. Evolução de caudal na captação Lourinhos I.

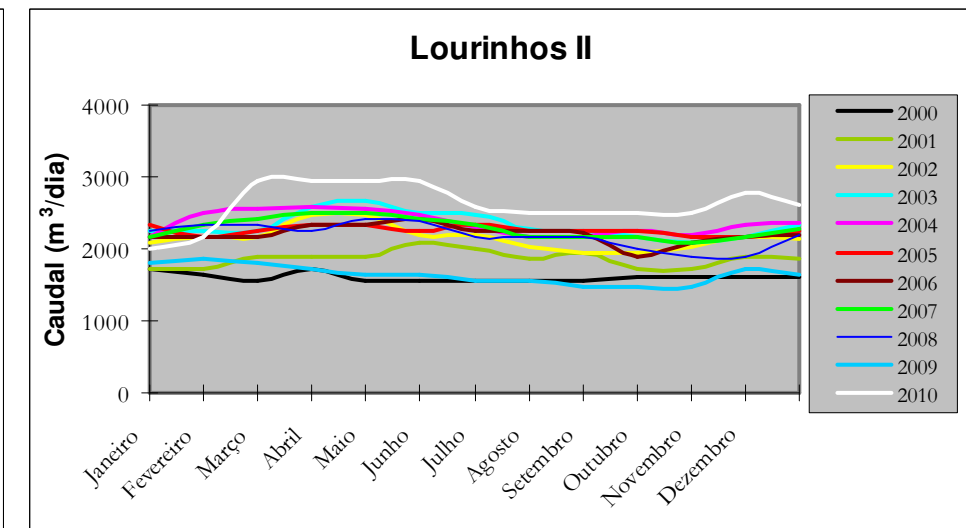


Figura 3.6. Evolução de caudal na captação Lourinhos II.

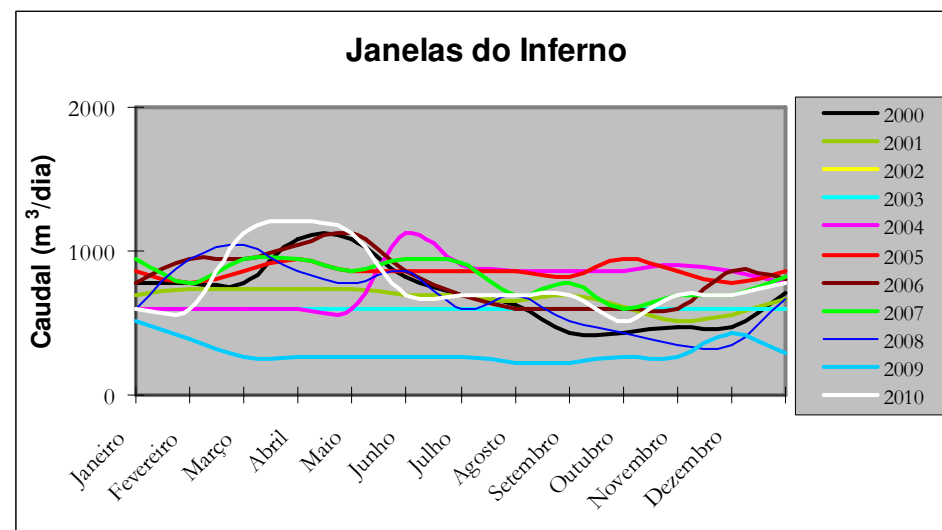


Figura 3.7. Evolução de caudal na captação Janelas do Inferno.

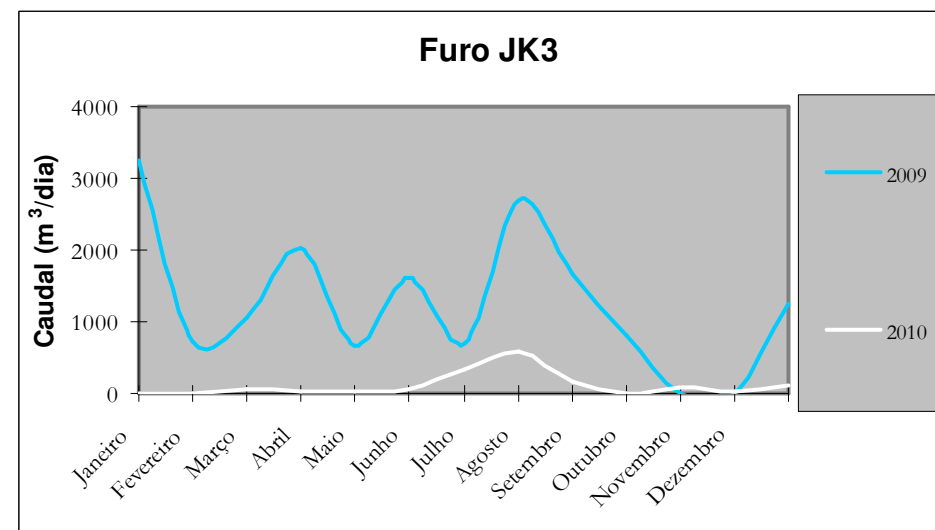


Figura 3.8. Evolução de caudal no furo de captação JK3.

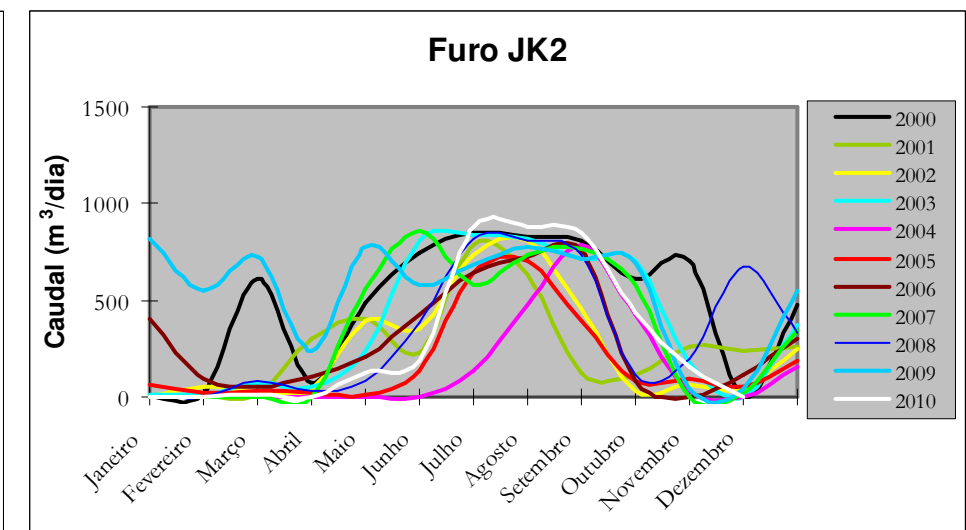


Figura 3.9. Evolução de caudal no furo de captação JK2.

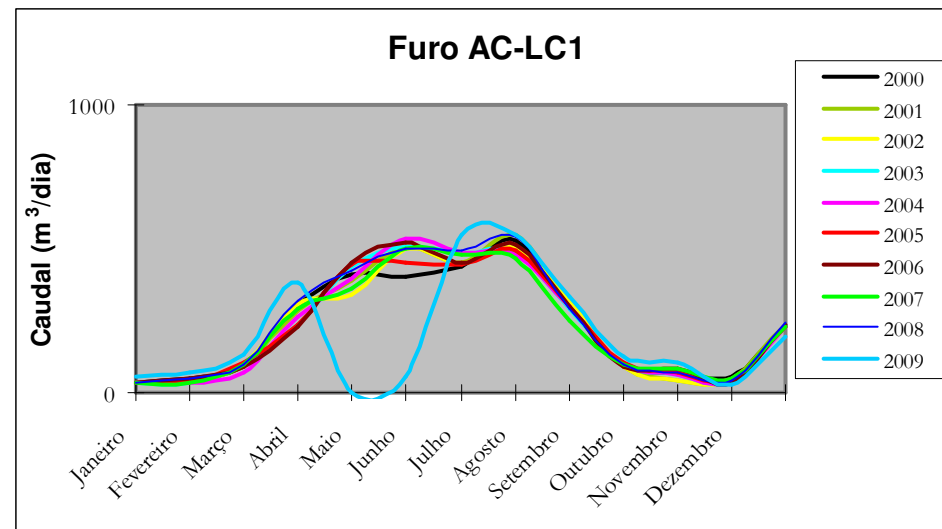


Figura 3.10. Evolução de caudal no furo de captação AC-LC1.

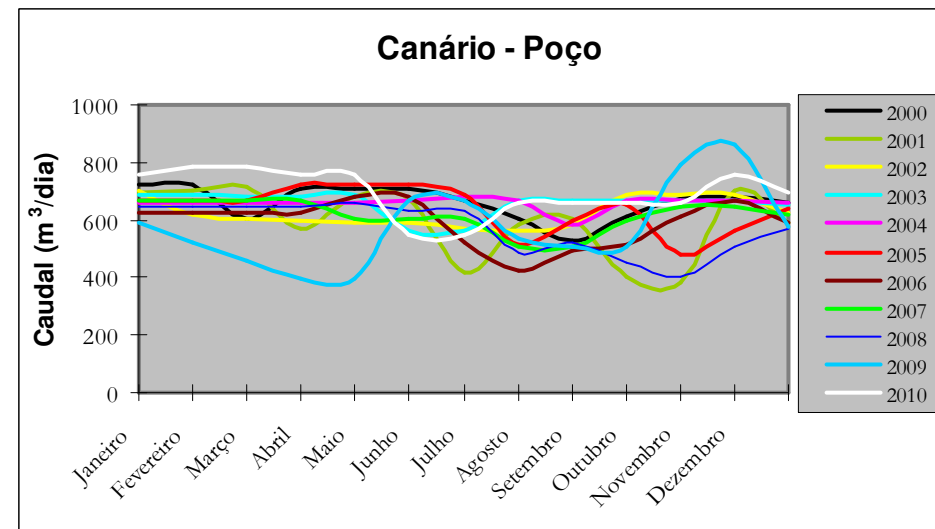


Figura 3.11. Evolução de caudal na captação Canário-Poço.

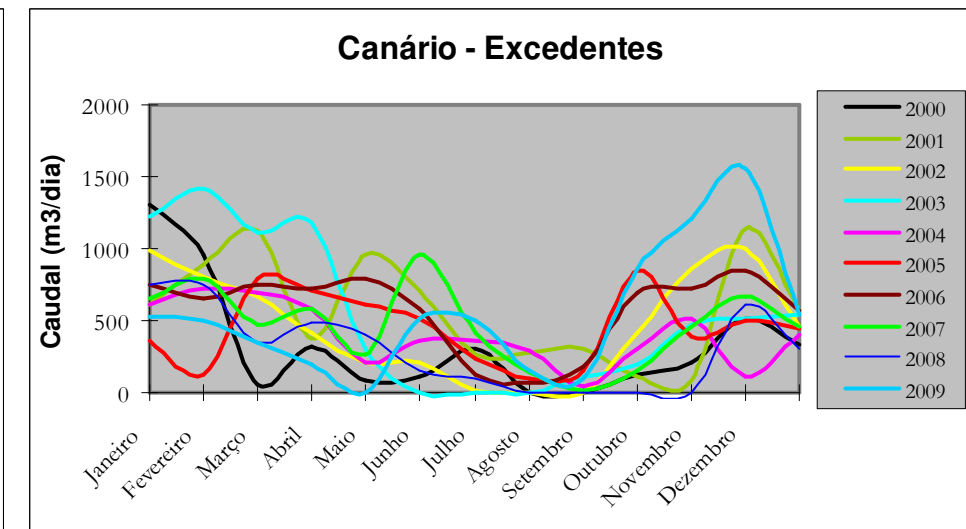


Figura 3.12. Evolução de caudal na captação Canário-Excedentes.

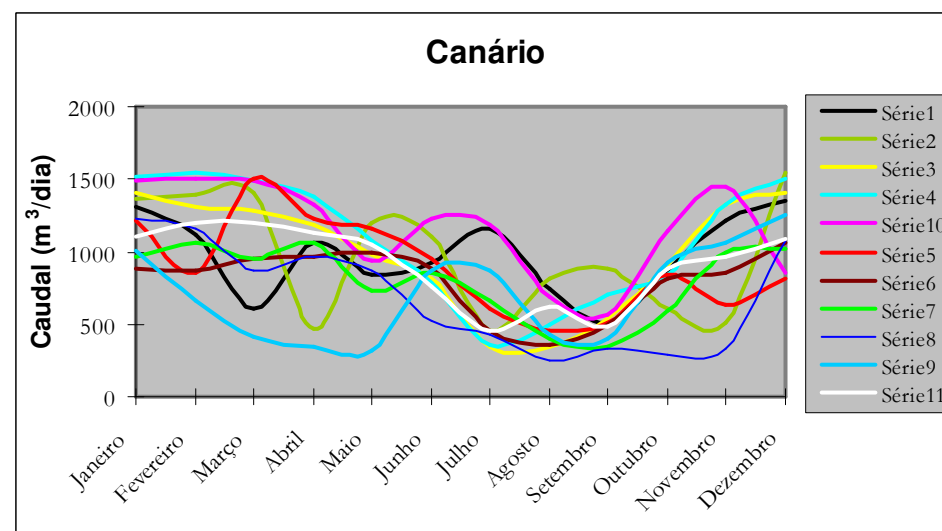


Figura 3.13. Evolução de caudal na captação Canário.

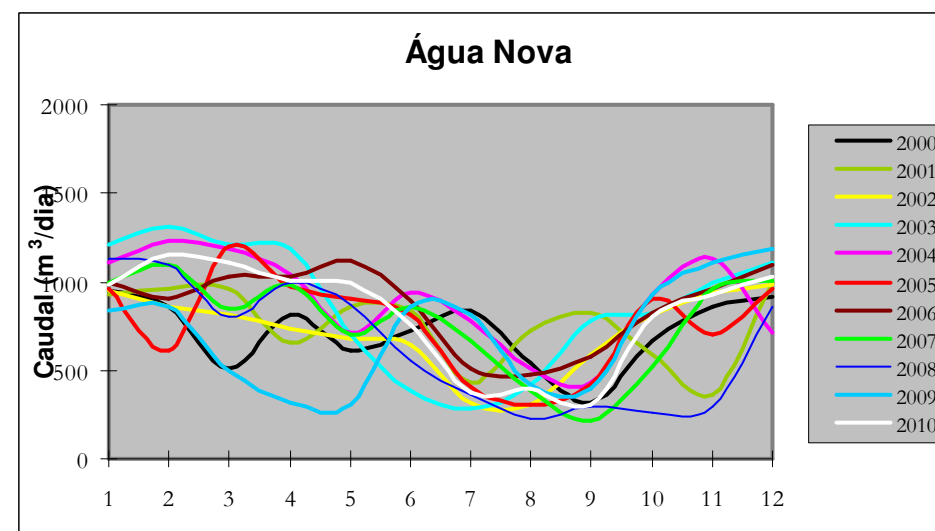


Figura 3.14. Evolução de caudal na captação Água Nova.

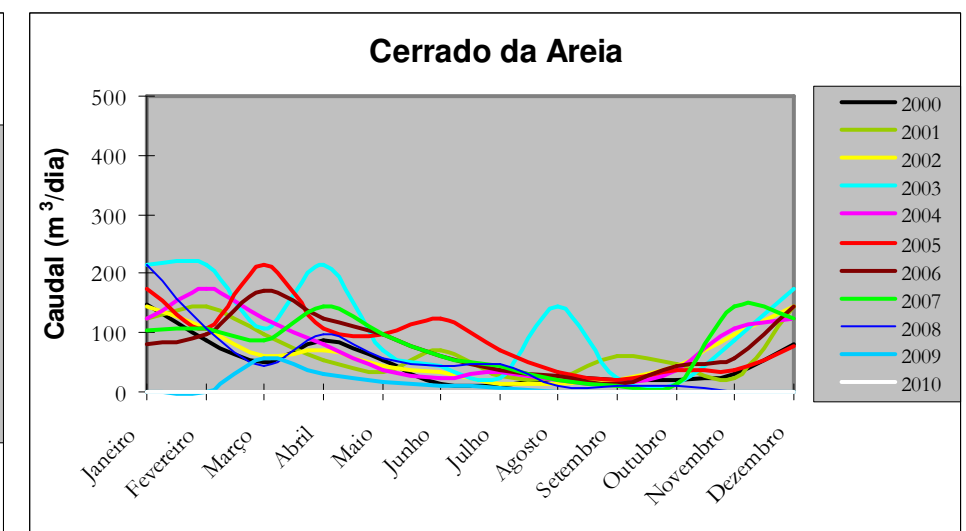


Figura 3.15. Evolução de caudal na captação Cerrado da Areia.

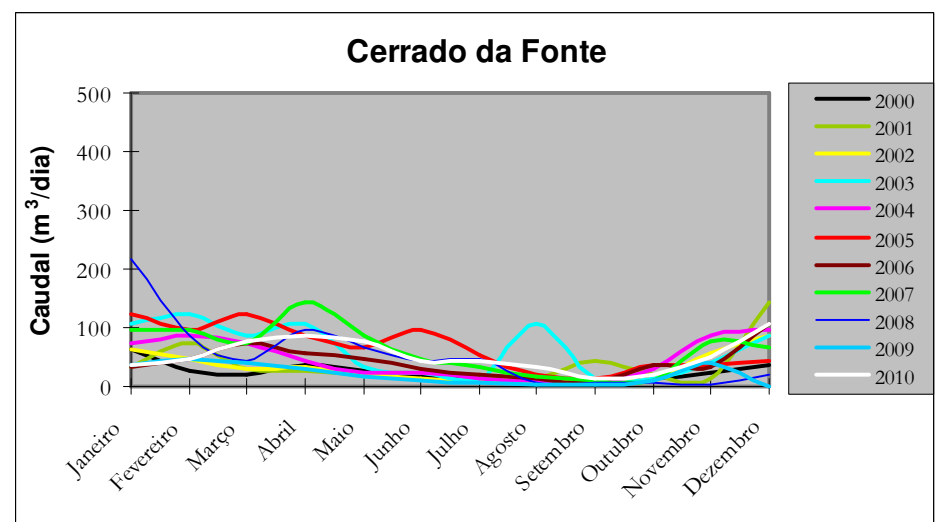


Figura 3.16. Evolução de caudal na captação Cerrado da Fonte.

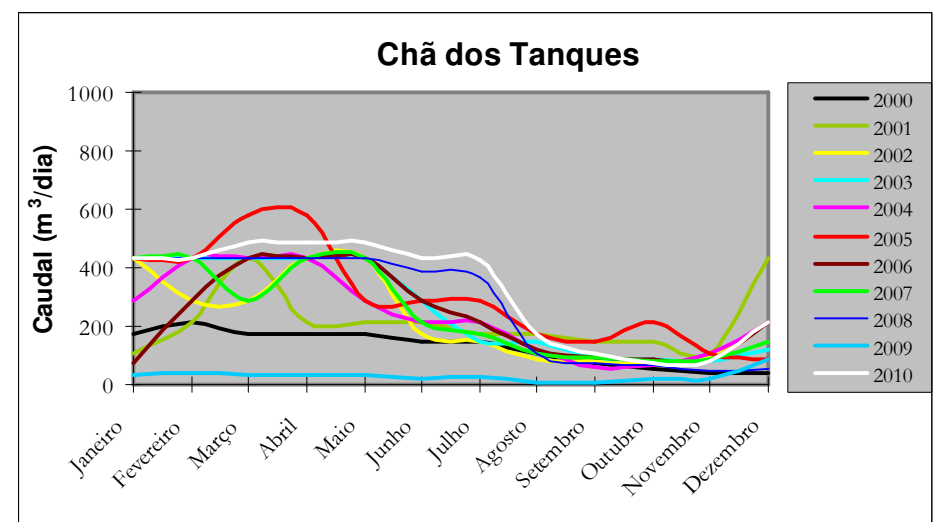


Figura 3.17. Evolução de caudal na captação Chã dos Tanques.

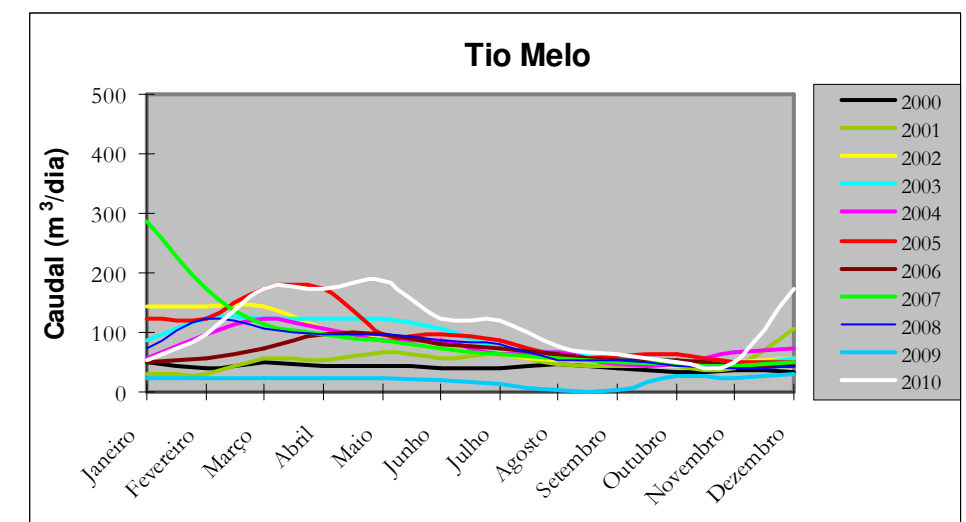


Figura 3.18. Evolução de caudal na captação Tio Melo.

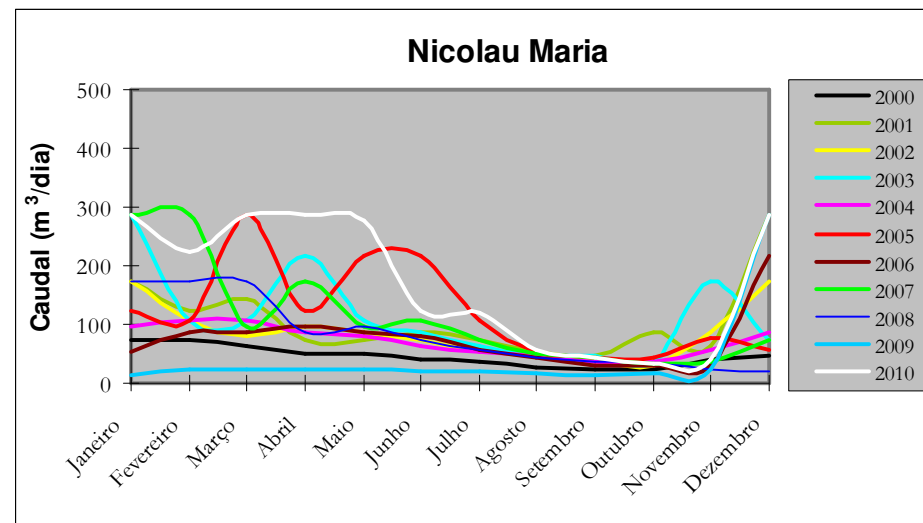


Figura 3.19. Evolução de caudal na captação Nicolau Maria.

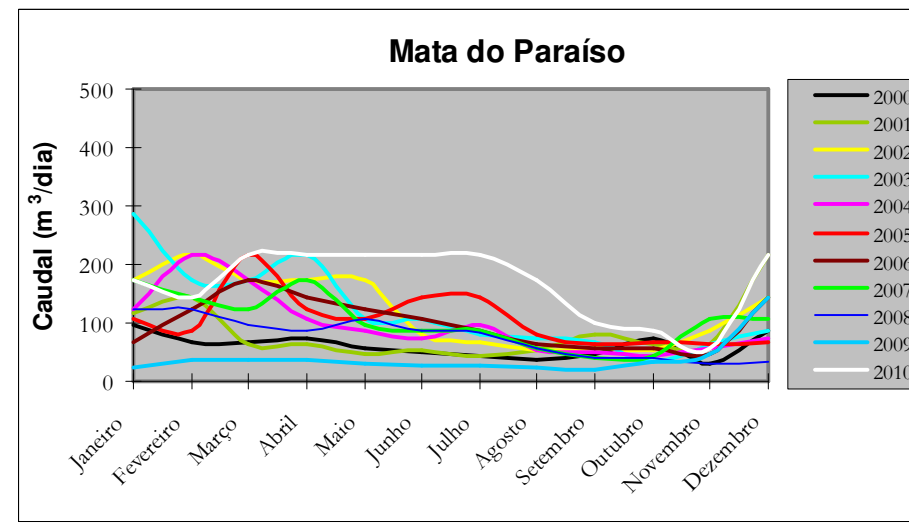


Figura 3.20. Evolução de caudal na captação Mata do Paraíso.

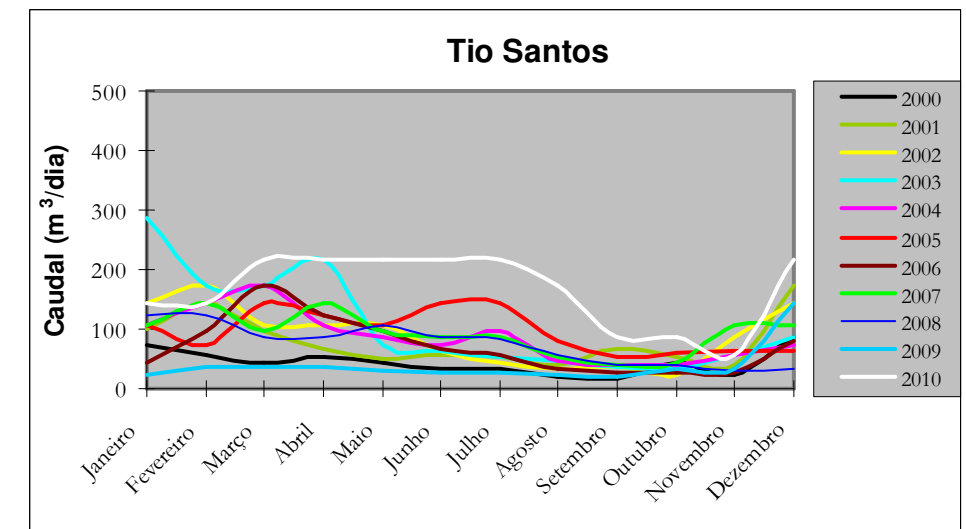


Figura 3.21. Evolução de caudal na captação Tio Santos.

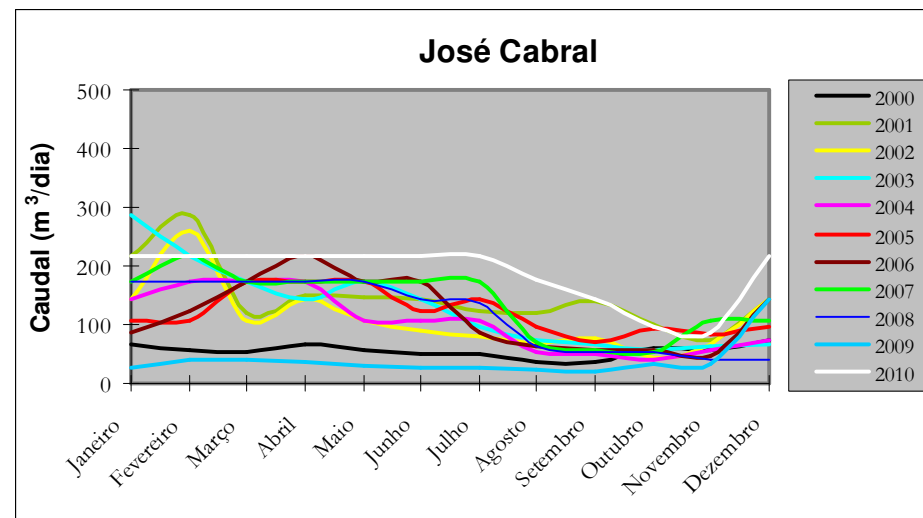


Figura 3.22. Evolução de caudal na captação José Cabral.

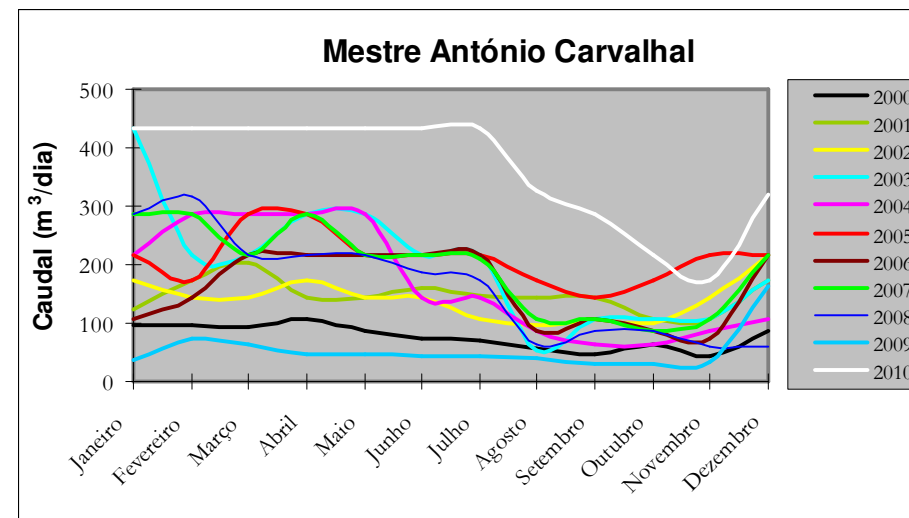


Figura 3.23. Evolução de caudal na captação Mestre António Carvalho.

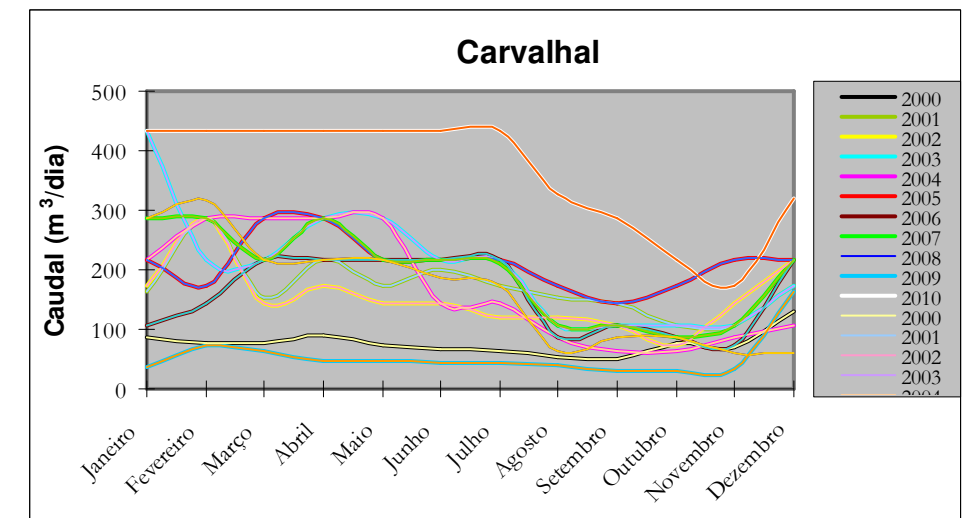


Figura 3.24. Evolução de caudal na captação Carvalho.

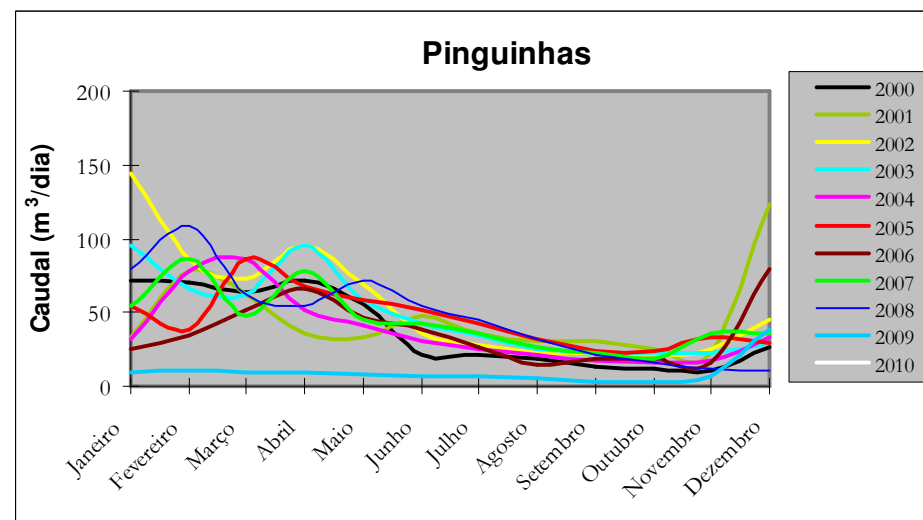


Figura 3.25. Evolução de caudal na captação Pinguinhas.

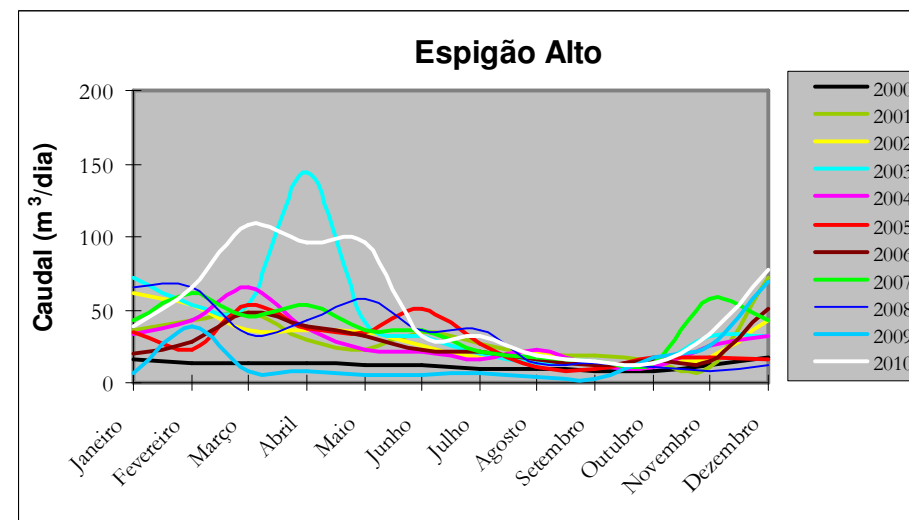


Figura 3.26. Evolução de caudal na captação Espigão Alto.

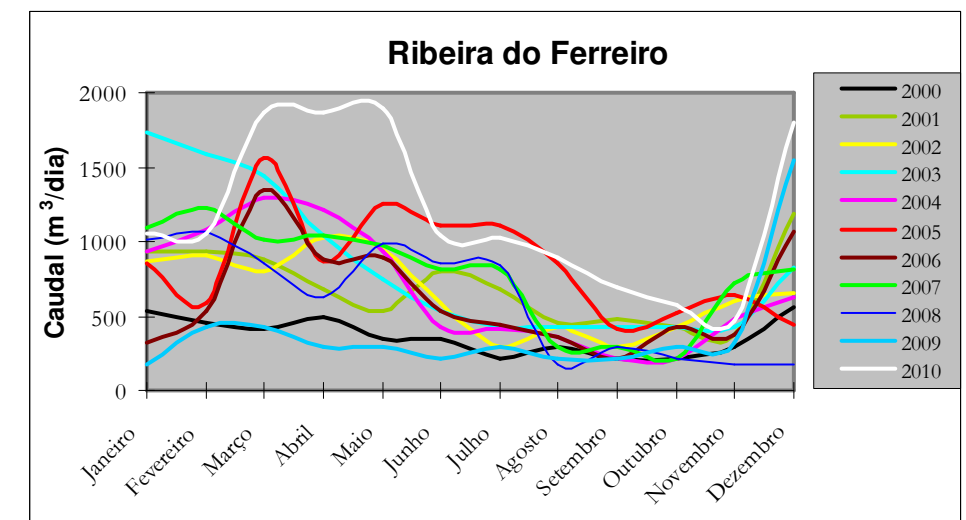


Figura 3.27. Evolução de caudal na captação Ribeira do Ferreiro.

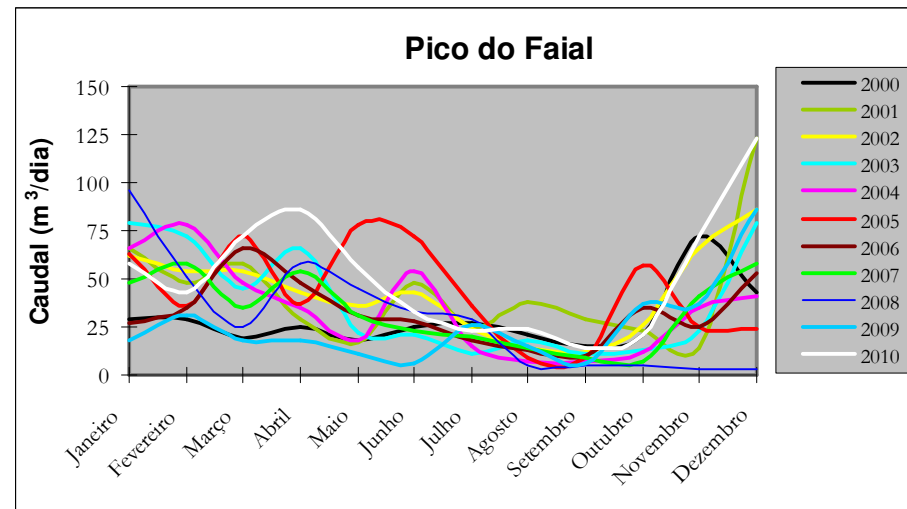


Figura 3.28. Evolução de caudal na captação Pico do Faial.

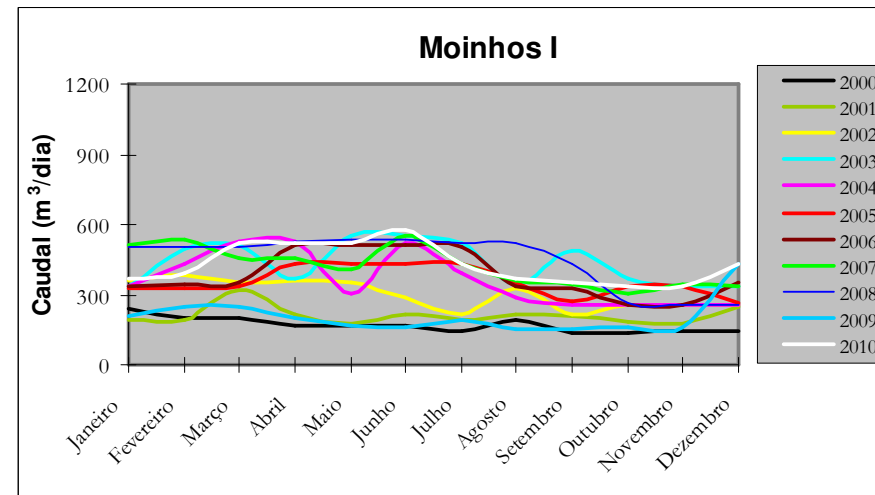


Figura 3.29. Evolução de caudal na captação Moinhos I.

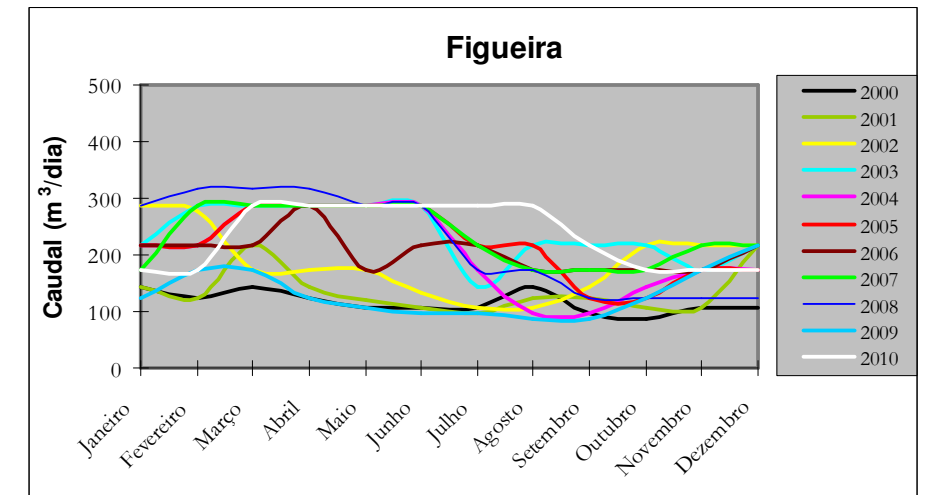


Figura 3.30. Evolução de caudal na captação Figueira.

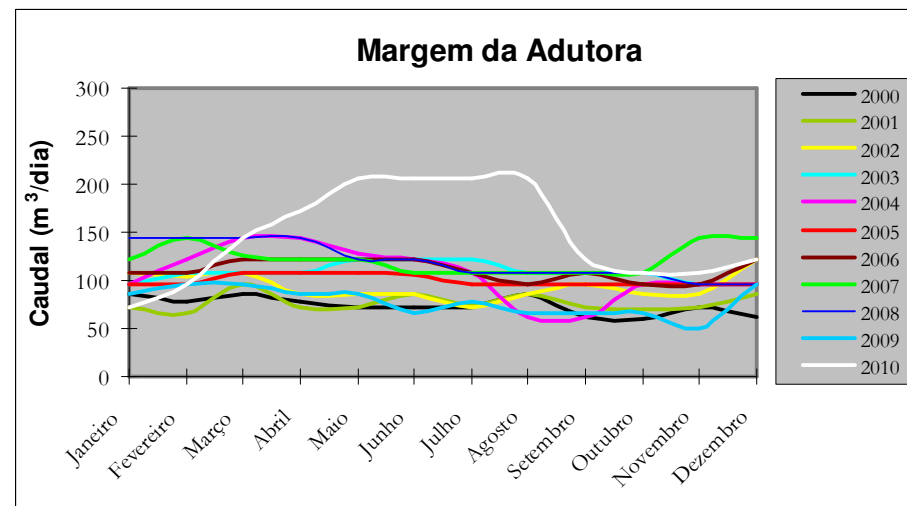


Figura 3.31. Evolução de caudal na captação Margem da Adutora.

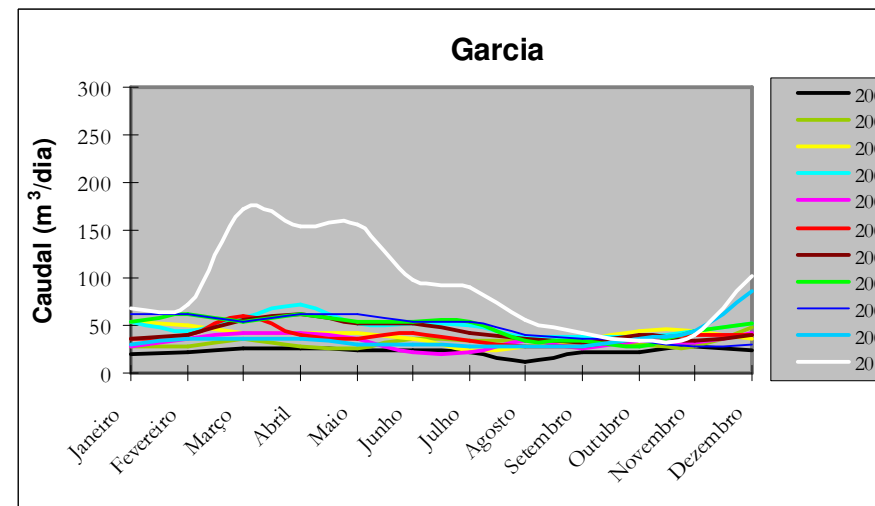


Figura 3.32. Evolução de caudal na captação Garcia.

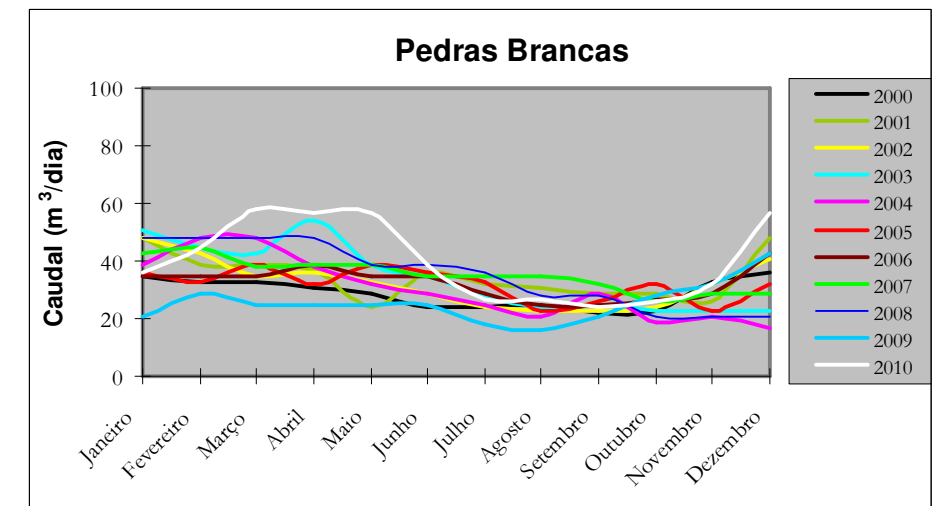


Figura 3.33. Evolução de caudal na captação Pedras Brancas.

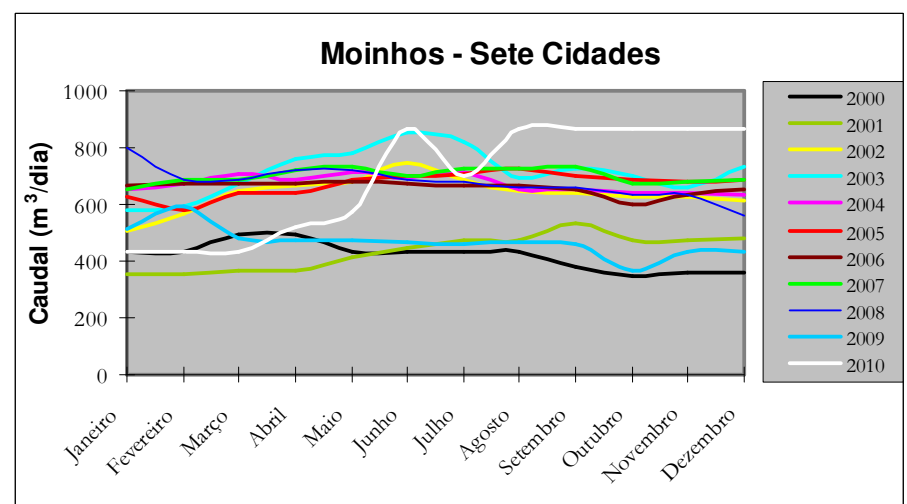


Figura 3.34. Evolução de caudal na captação Moinhos Sete Cidades.

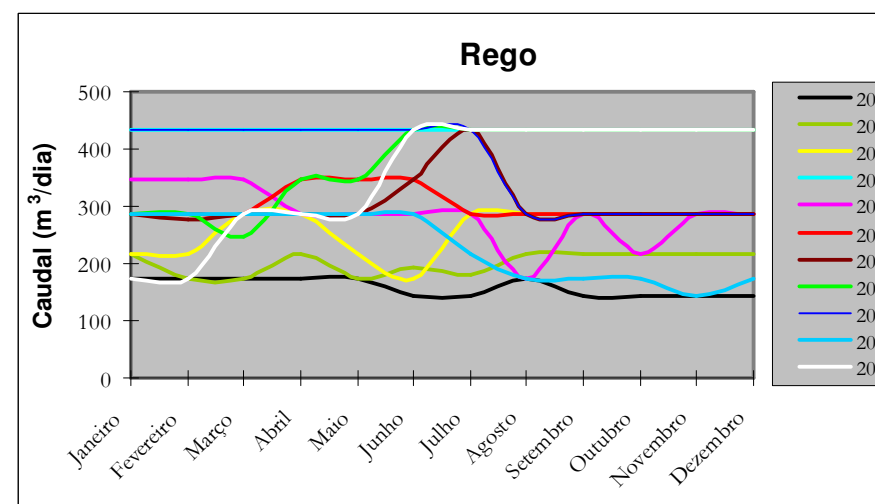


Figura 3.35. Evolução de caudal na captação Rego.

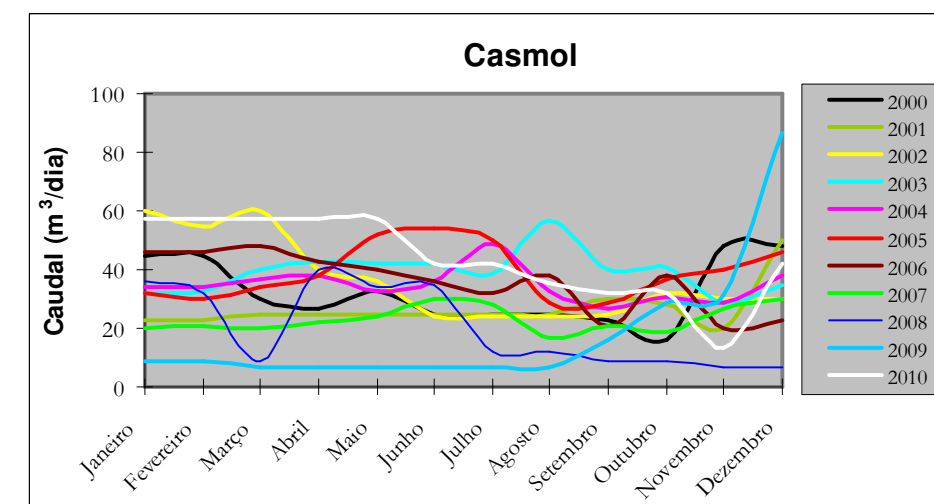


Figura 3.36. Evolução de caudal na captação Casmol.

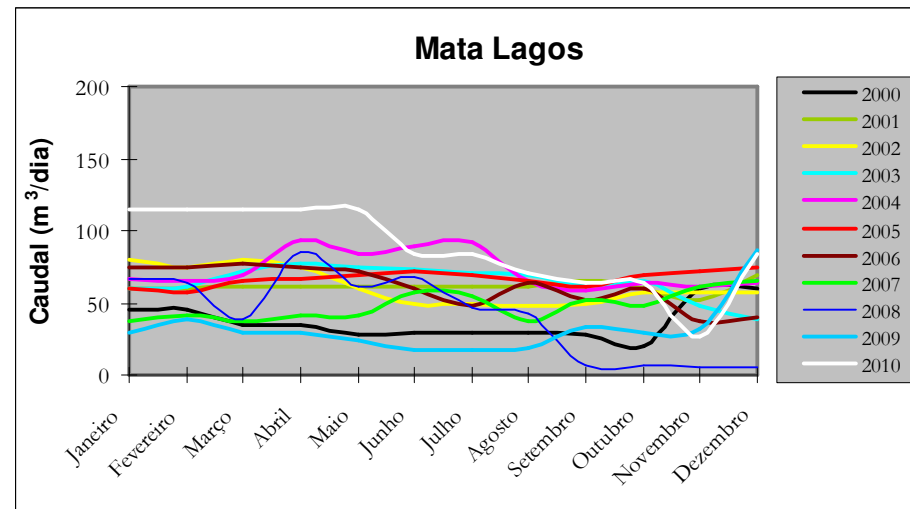


Figura 3.37. Evolução de caudal na captação Mata dos Lagos.

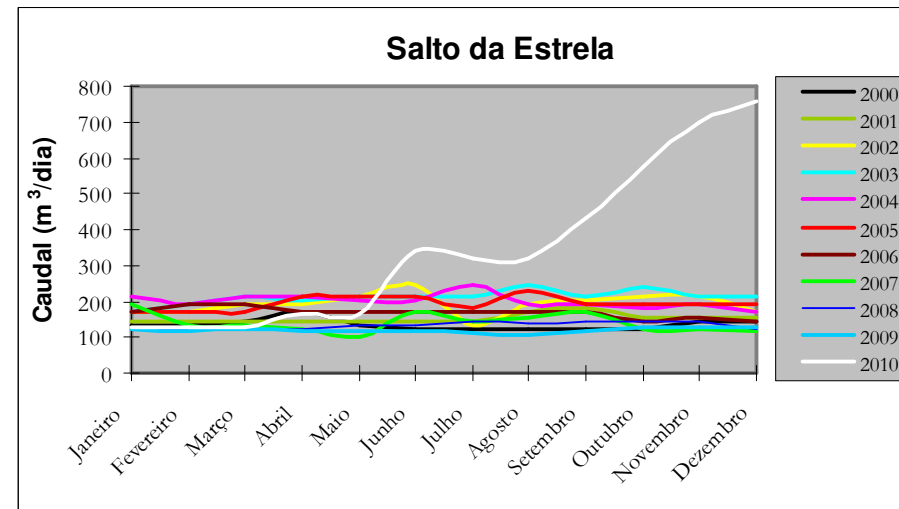


Figura 3.38. Evolução de caudal na captação Salto da Estrela.

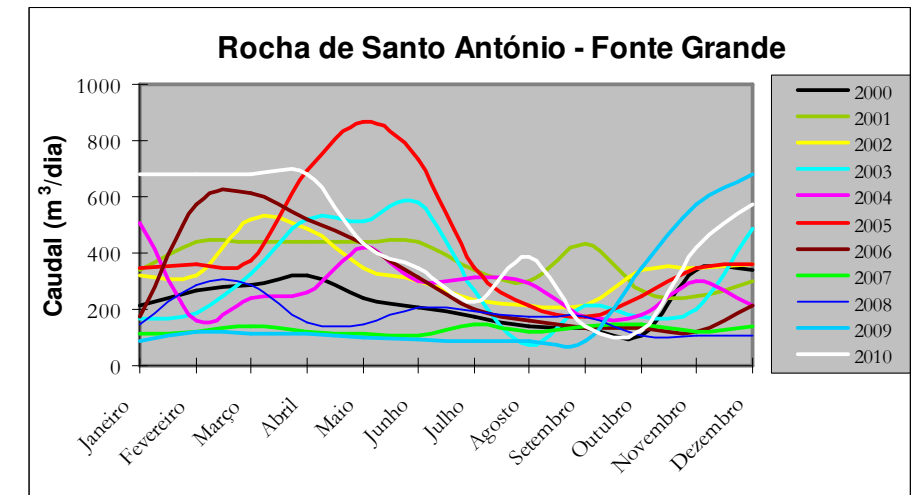


Figura 3.39. Evolução de caudal na captação Rocha de Santo António – Fonte Grande.

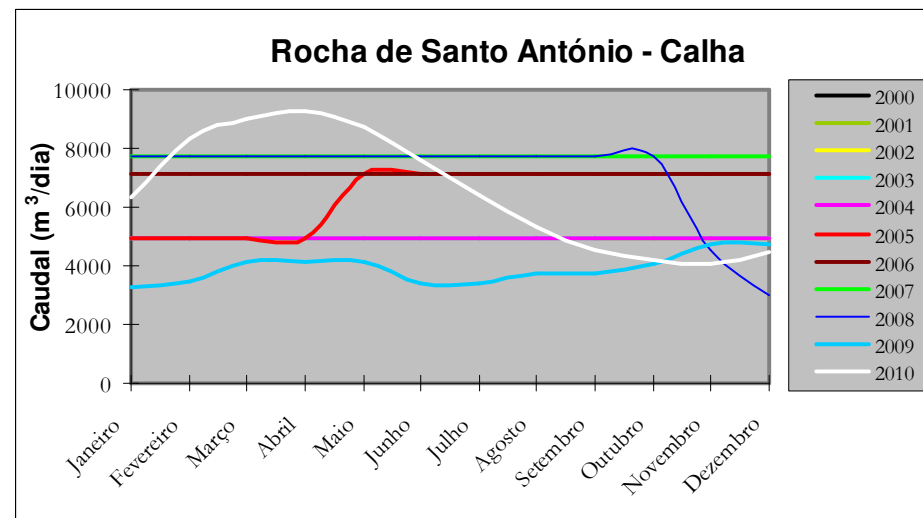


Figura 3.40. Evolução de caudal na captação Rocha de Santo António – Calha.

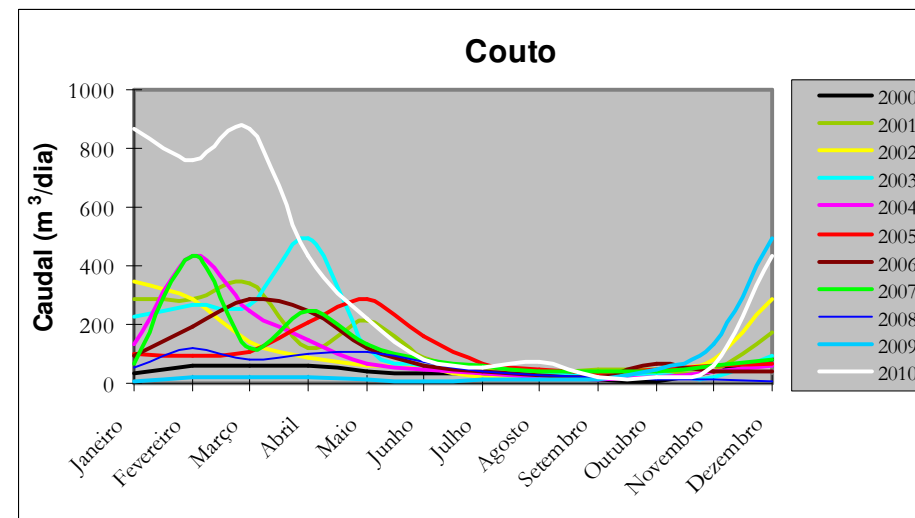


Figura 3.41. Evolução de caudal na captação Couto.

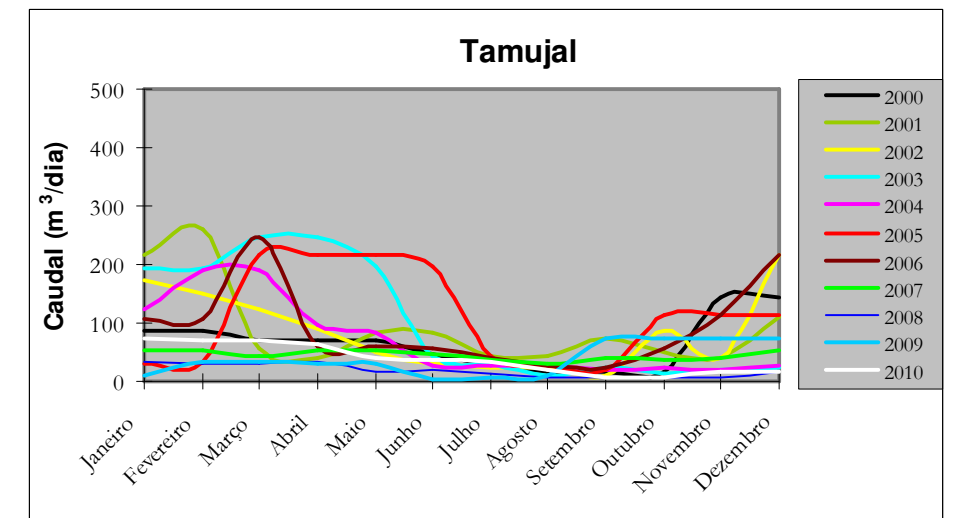


Figura 3.42. Evolução de caudal na captação Tamujal.

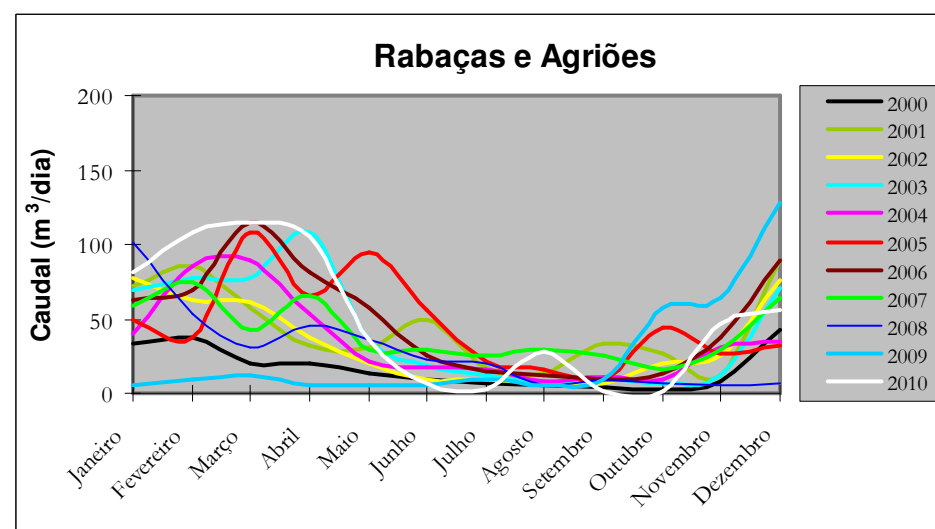


Figura 3.43. Evolução de caudal nas captações Rabaças e Agriões.

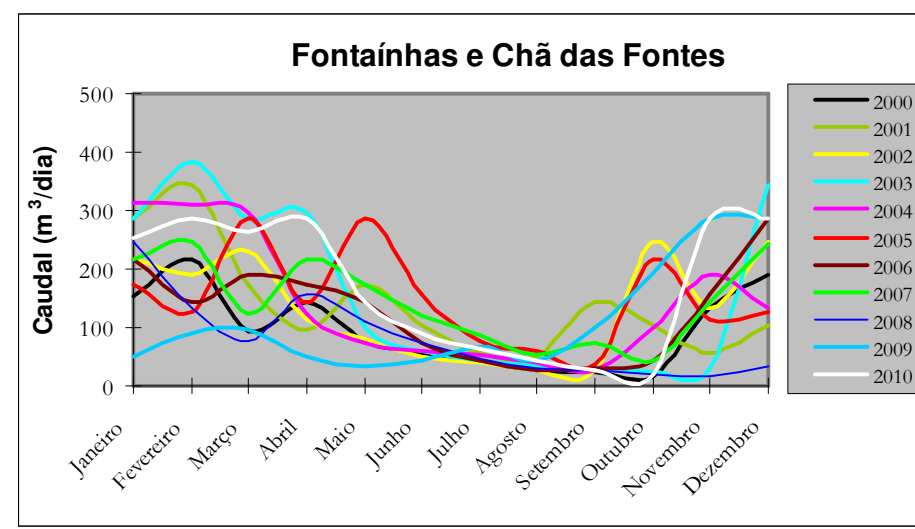


Figura 3.44. Evolução de caudal nas captações Fontainhas e Chã das Fontes.

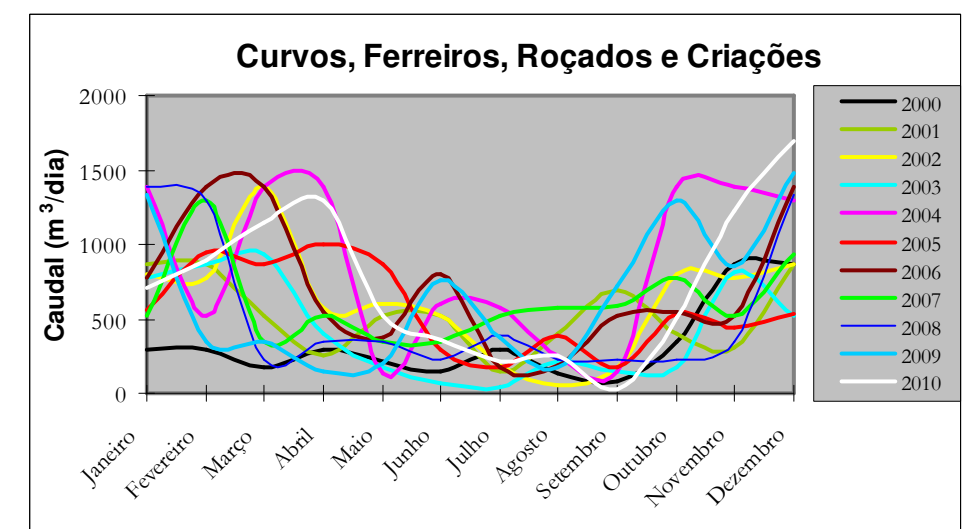


Figura 3.45. Evolução de caudal nas captações Curvos, Ferreiros, Roçados e Criações.

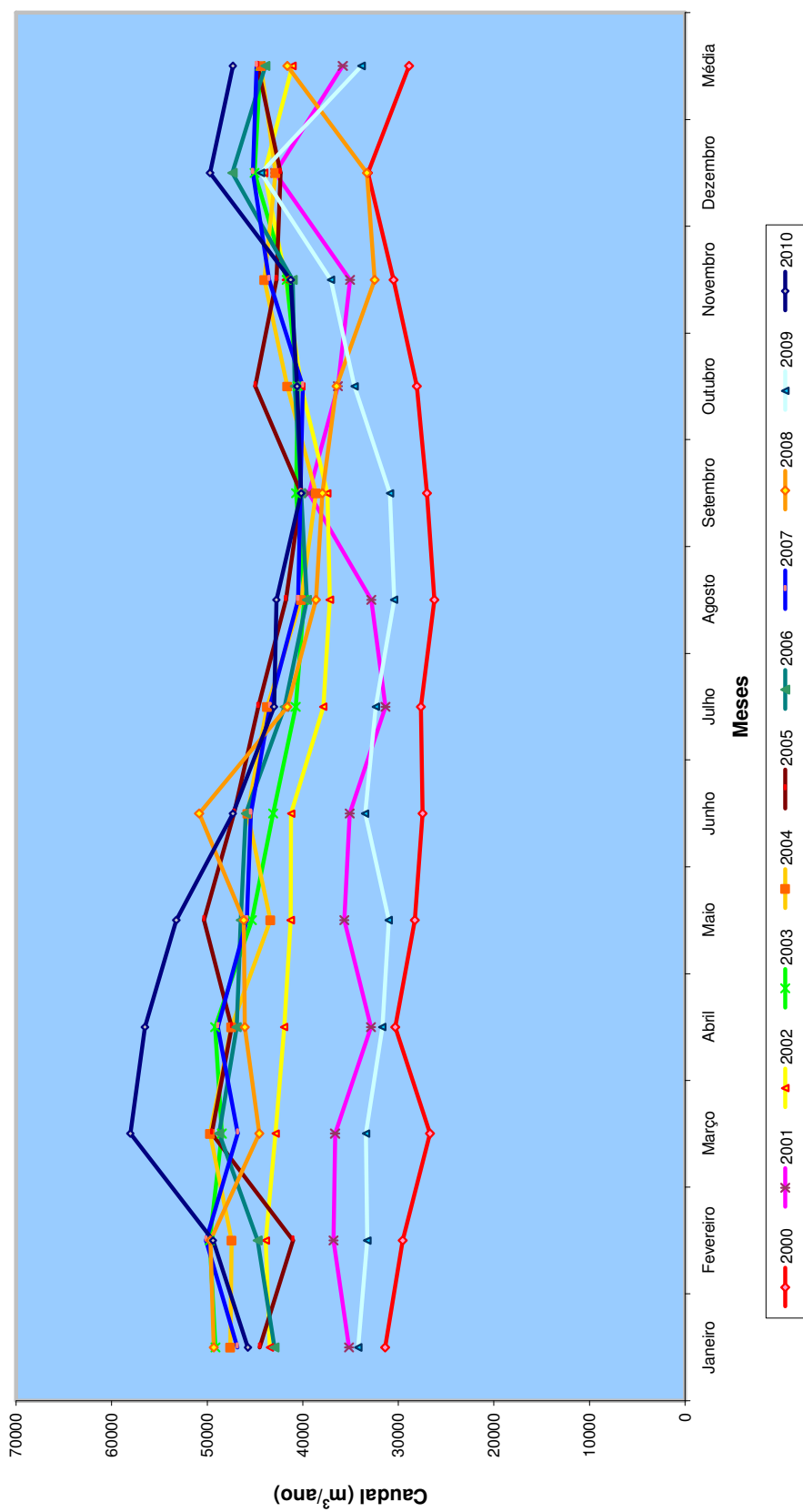


Figura 3.46. Evolução dos caudais captados pelos SMAS de Ponta Delgada entre 2000 e 2010 (gráfico fornecido pelos SMAS).

Pretendendo efectuar um balanço entre as necessidades da população e as disponibilidades de água, estimou-se a população para cada zona de abastecimento com base nos Censos de 2001 e nas estimativas do INE para 2007.

Admitindo uma captação de 200 L/dia, valor aconselhado pelo Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto para efeitos de cálculo, estimou-se o consumo de cada zona de abastecimento, apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Estimativa de consumo para cada zona de abastecimento (ID – Identificação).

ID	Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)
A	Arrifes	6991	1398,2
B	Bretanha e Remédios	1332	266,4
C	Candelária	1184	236,8
D	Capelas Maranhão	500	100,0
E	Capelas Monte Alegre	1100	220,0
F	Chã do Rego de Água e São Roque	4491	898,2
G	Fajã de Baixo	4553	910,6
H	Fajã de Cima	3635	727,0
I	Feteiras - Zona Alta	855	171,0
J	Feteiras - Zona Baixa	855	171,0
L	Ginetes	845	169,0
M	Livramento	3489	697,8
N	Mosteiros - Norte	399	79,8
O	Mosteiros - Sul	399	79,8
P	Mosteiros e Bretanha	1465	293,0
Q	Relva, Covoada e Ramalho	4962	992,4
R	Santa Bárbara e Remédios	1212	242,4
S	Santo António e Capelas	3661	732,2
T	São José	7960	1592,0
U	São Sebastião e São Pedro	12986	2597,2
V	São Vicente e Fenais da Luz	3559	711,8
X	Sete Cidades	858	171,6
W	Várzea	422	84,4

Na Tabela 3.4, encontram-se os caudais médios diários de água consumidos pelos pontos de abastecimento em alta (concelhos de Lagoa e de Ribeira Grande).

Tabela 3.4. Consumos de água verificados nos pontos de entrega em alta
(dados fornecidos pelos SMAS de Ponta Delgada)

Anos	Consumo Ponto de Entrega em Alta (m ³ /d)	
	Lagoa (Y)	Ribeira Grande (Z)
2006	127	170
2007	39	185
2008	180	349
2009	138	324
2010	138	98

Admitindo que existem zonas de possível gestão a partir de um grupo de captações específico, determinou-se o balanço das necessidades/disponibilidades para o concelho, para as disponibilidades médias de água, apresentado na Tabela 3.5, onde foram utilizados os registos de caudal do ano 2010.

Tabela 3.5. Balanço das necessidades/ disponibilidades de água para caudais de produção médios.

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)	
Arrifes	6991	1398,2	Inclui todas as captações do maciço da Lagoa do Fogo, furos de captação (JK2, JK3 e AC-LC1), Roçados, Curvos, Ferreiros, Criações, Rabaças, Agriões, Fontainhas, Chã das Fontes)	
Capelas Maranhão	500	100,0		
Capelas Monte Alegre	1100	220,0		
Chã do Rego de Água e São Roque	4491	898,2		
Fajã de Baixo	4553	910,6		
Fajã de Cima	3635	727,0		
Livramento	3489	697,8		
Santa Bárbara e Remédios	1212	242,4		
Santo António e Capelas	3661	732,2		
São José	7960	1592,0		
São Sebastião e São Pedro	12986	2597,2		
São Vicente e Fenais da Luz	3559	711,8		
Total	54137	10827,4		37869
Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)	
Mosteiros - Norte	399	79,8	Inclui captações dos Mosteiros (Moinhos, Figueira, Margem da adutora e Garcia)	
Mosteiros - Sul	399	79,8		
Total	798	159,6		901
Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)	
Mosteiros e Bretanha	1465	293,0	Inclui nascentes das e Sete Cidades (Moinhos, Salto da Estrela, Rego e Pedras Brancas) e as captações de Mata dos Lagos e Casmol	
Sete Cidades	858	171,6		
Bretanha e Remédios	1332	266,4		
Total	3655	731		1563

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Feteiras - Zona Alta	855	171,0	Inclui nascentes das feteiras (Chã dos Tanques, Tio Melo, Cerrado da Fonte), Canário (Canário, Canário-Poço e Canário-Excedentes) e Água Nova
Feteiras - Zona Baixa	855	171,0	
Relva, Covoada e Ramalho	4962	992,4	
Total	6672	1334,4	4005

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Várzea	422	84,4	Inclui nascentes de Nicolau Maria, Pico do Faial, Espigão Alto, zona do Paraíso e Ribeira do Ferreiro
Ginetes	845	169,0	
Candelária	1184	236,8	
Total	2451	490,2	2779

Atendendo que, na época estival, os caudais da maior parte das captações tendem a descer, consequência da baixa precipitação verificada neste período (Maio a Outubro, embora com maior incidência nos meses de Agosto e Setembro), calculou-se o balanço das necessidades/disponibilidades para o concelho, para as disponibilidades mínimas de água, apresentado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Balanço das necessidades/ disponibilidades de água para caudais de produção mínimos.

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Arrifes	6991	1398,2	Inclui todas as captações do maciço da Lagoa do Fogo, furos de captação (JK2, JK3 e AC-LC1), Roçados, Curvos, Ferreiros, Criações, Rabaças, Agriões, Fontainhas, Chã das Fontes)
Capelas Maranhão	500	100,0	
Capelas Monte Alegre	1100	220,0	
Chã do Rego de Água e São Roque	4491	898,2	
Fajã de Baixo	4553	910,6	
Fajã de Cima	3635	727,0	
Livramento	3489	697,8	
Santa Bárbara e Remédios	1212	242,4	
Santo António e Capelas	3661	732,2	
São José	7960	1592,0	
São Sebastião e São Pedro	12986	2597,2	
São Vicente e Fenais da Luz	3559	711,8	
Total	54137	10827,4	

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Mosteiros - Norte	399	79,8	Inclui captações dos Mosteiros (Moinhos, Figueira, Margem da adutora e Garcia)
Mosteiros - Sul	399	79,8	
Total	798	159,6	611

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Mosteiros e Bretanha	1465	293,0	Inclui nascentes das e Sete Cidades (Moinhos, Salto da Estrela, Rego e Pedras Brancas) e as captações de Mata dos Lagos e Casmol
Sete Cidades	858	171,6	
Bretanha e Remédios	1332	266,4	
Total	3655	731	973

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Feteiras - Zona Alta	855	171,0	Inclui nascentes das feteiras (Chã dos Tanques, Tio Melo, Cerrado da Fonte), Canário (Canário, Canário-Poço e Canário-Excedentes) e Água Nova
Feteiras - Zona Baixa	855	171,0	
Relva, Covoada e Ramalho	4962	992,4	
Total	6672	1334,4	1635

Zona de Abastecimento	População (hab.)	Caudal necessário (m ³ /dia)	Disponibilidade média (m ³ /dia)
Várzea	422	84,4	Inclui nascentes de Nicolau Maria, Pico do Faial, Espigão Alto, zona do Paraíso e Ribeira do Ferreiro
Ginetes	845	169,0	
Candelária	1184	236,8	
Total	2451	490,2	1097

Para o cálculo dos balanços representados nas Tabelas 3.5 e 3.6, foram utilizados os caudais máximos de produção para os três furos de captação. Contudo, na gestão corrente de água no concelho, estes caudais são regulados consoante as necessidades de água, sendo que estes raramente são utilizados no Inverno.

O fenómeno verificado de redução de caudal produzido na época estival confirma a existência de aquíferos suspensos, apresentando um tempo de residência reduzido e com uma circulação pouco profunda, o que justifica a fraca mineralização das águas captadas (à excepção do furo de captação JK3 por sofrer de intrusão salina) e o decréscimo acentuado do nível freático acompanhado da diminuição da precipitação.

De forma a equalizar os caudais produzidos diariamente e os consumos de ponta verificados ao longo do dia, o sistema de abastecimento de Ponta Delgada dispõe de 56 reservatórios, cuja listagem e capacidades estão representadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Listagem dos reservatórios dos SMAS e respectivas capacidades de armazenamento

	Nome do reservatório	Localização	Capacidade das células (m ³)	Capacidade total
1	Reservatório da Saúde	Arrifes	1 x 230	230
2	Reservatório da Castanheira (Piedade II)	Arrifes	2 x 500	1000
3	Reservatório Velho das Encruzilhadas	Arrifes	1 x 150	150
4	Reservatório Novo das Encruzilhadas	Arrifes	2 x 500	1000
5	Reservatório da Carreira	Arrifes	2 x 250	500

6	Reservatório da Piedade I	Arrifes	2 x 250	500
7	Reservatório dos Valados	Arrifes	2 x 250	500
8	Reservatório do Cambado	Arrifes	1 x 100	100
9	Reservatório da Lagoa do Conde	Arrifes	2 x 250	500
10	Reservatório do Pico da Carreira	Arrifes	2 x 1000	2000
11	Reservatório da Relva (Grotta)	Relva	1 x 250	250
12	Reservatório da Covoada	Covoada	1 x 360	360
13	Reservatório da Canada do Ferreiro	Bretanha	1 x 150	150
14	Reservatório da Casa Telhada	Bretanha	1 x 150	150
15	Reservatório da Canada dos Cinquenta	Bretanha	1 x 150	150
16	Reservatório da Canada do Laureano	Bretanha	1 x 150	150
17	Reservatório da Lomba da Cruz	S. António	2 x 250	500
18	Reservatório do Maranhão	Capelas	1 x 150	150
19	Reservatório do Monte Alegre	Capelas	1 x 150	150
20	Reservatório da Conceição	Capelas	2 x 150	300
21	Reservatório dos Fenais da Luz	Fenais da Luz	150 + 500	650
22	Reservatório dos Remédios	Bretanha	1 x 150	150
23	Reservatório da Terra (Costa norte)	S. Vicente	2 x 500 + 80	1080
24	Reservatório de Santa Bárbara	S. Bárbara	1 x 150	150
25	Reservatório Novo de Santo António	S. António	2 x 1000	2000
26	Reservatório Velho de Santo António	S. António	1 x 80	80
27	Reservatório da Rocha de Santo António	S. António	1 x 150	150
28	Reservatório de São Vicente	S. Vicente	1 x 150	150
29	Reservatório do Paraíso	Candelária	2 x 100	200
30	Reservatório da Ribeira do Ferreiro	Candelária	2 x 500	1000
31	Reservatório dos Barões	Feteiras	2 x 250	500
32	Reservatório da Zona Alta das Feteiras	Feteiras	1 x 150	150
33	Reservatório da Azenha (Zona Baixa das Feteiras)	Feteiras	1 x 150	150
34	Reservatório do Nicolau Maria/Lomba de Cima	Ginetes	1 x 100	100
35	Reservatório da Lomba de Baixo	Ginetes	2 x 100	200
36	Reservatório da Zona Alta dos Ginetes	Ginetes	1 x 100	100
37	Reservatório dos Ginetes	Ginetes	1 x 200	200
38	Reservatório da Lomba dos Homens	Mosteiros	1 x 60 + 500	560
39	Reservatório dos Mosteiros	Mosteiros	1 x 200	200
40	Reservatório das Sete Cidades	Sete Cidades	1 x 150	150
41	Reservatório da Várzea	Várzea	1 x 100	100
42	Reservatório do Pilar	Fajã de Baixo	2 x 500	1000
43	Reservatório do Pico do Funcho	Fajã de Baixo	2 x 1000	2000
44	Reservatório do Pico do Salomão	Fajã de Cima	2 x 1000	2000
45	Reservatório Central	Fajã de Cima	500 m ³ + 1000	1500

46	Reservatório da Fajã de Cima	Fajã de Cima	2 x 250	500
47	Reservatório do Erva Moura	Fajã de Cima	2 x 1000	2000
48	Reservatório da Chã do Rego de Água	Lagoa	2 x 150	300
49	Reservatório das Murtas	São Roque	2 x 500	1000
50	Reservatório do Botelho	Livramento	2 x 1000	2000
51	Reservatório das Necessidades	Livramento	2 x 700	1400
52	Reservatório do Visconde	Livramento	1 x 80	80
53	Reservatório do Paím	P. Delgada	2 x 1000	2000
54	Reservatório da Arquinha	P. Delgada	2 x 1400	2800
55	Reservatório do João Leite	São Roque	2 x 750	1500
56	Reservatório do Pico do Fogo	Rib. Grande	2 x 1000	2000
Total			38 890 m³	

A capacidade de reserva do sistema de abastecimento de Ponta Delgada eleva-se a quase $39 \times 10^3 \text{ m}^3$ de água, o que significa, em grosso modo, uma reserva de aproximadamente três dias sem fornecimento de água.

Na Figura 3.47. encontram-se representadas as infra-estruturas principais inerentes à captação, armazenamento, tratamento e adução de água. Neste mapa, apresenta-se, também, a delimitação das zonas de abastecimento.

3.2. SISTEMA DE CONTROLO E MONITORIZAÇÃO

De forma a dar resposta ao Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, revogado em 2001 pelo Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro e, por sua vez, revogado pelo Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, os SMAS de Ponta Delgada têm elaborado, anualmente, o designado Programa de Controlo da Qualidade da Água (PCQA), submetido à entidade competente para aprovação.

A entidade competente para a qualidade da água para consumo humano, com actividade entre Setembro 1999 e Outubro de 2009, foi o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) que se transformou em Entidade Reguladora de Águas e Resíduos (ERSAR) com a publicação do Decreto-Lei n.º 277/2009, de 2 de Outubro. A ERSAR foi autoridade competente para a Região Autónoma dos Açores até a entrada em vigor do Decreto Legislativo Regional n.º 8/2010/A de 5 de Março, em

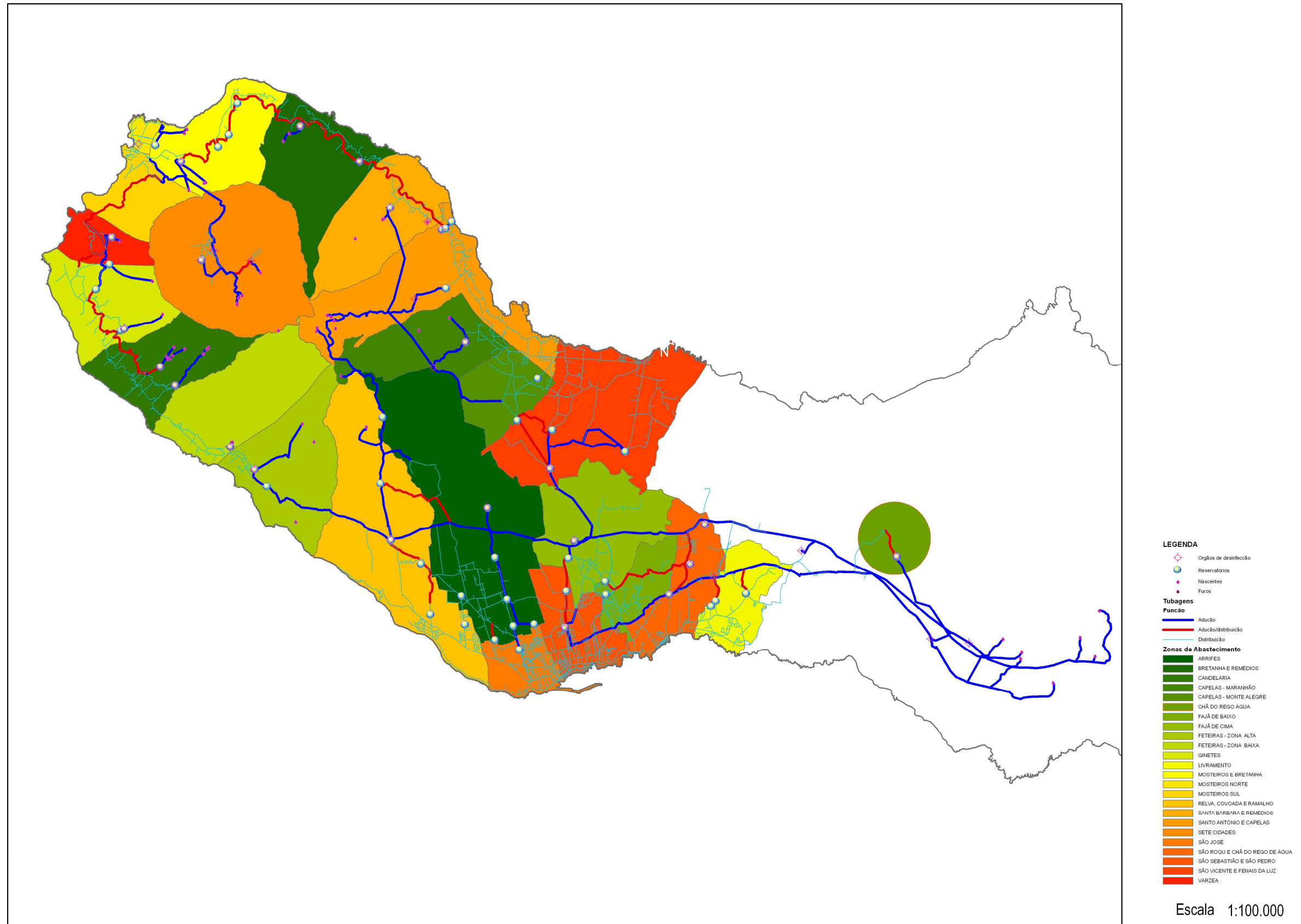


Figura 3.47. Sistema de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada.

Abril de 2010, que passou a designar como entidade competente a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA).

É parte integrante do PCQA o plano de amostragem de água a efectuar na torneira do consumidor, e que visa representar a qualidade da água da rede de distribuição. A cada amostra de água é atribuído um tipo de controlo que, à luz da legislação em vigor, reflecte a determinação de um número de parâmetros que deverão cumprir os valores paramétricos definidos por lei.

A obrigação de conformidade em relação aos valores paramétricos iniciou-se a 25 de Dezembro de 2003, de acordo com o n.º 1, do art. 18.º, do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, instituindo-se o primeiro PCQA submetido à aprovação por todas as entidades gestoras, incluindo os SMAS de Ponta Delgada.

Desde a implementação do primeiro PCQA, tem sido observada uma deflexão na curva de incumprimentos registados nesta entidade gestora. Na Figura 3.48 representa-se a evolução dos incumprimentos registados, em que é patente a tendência mencionada.

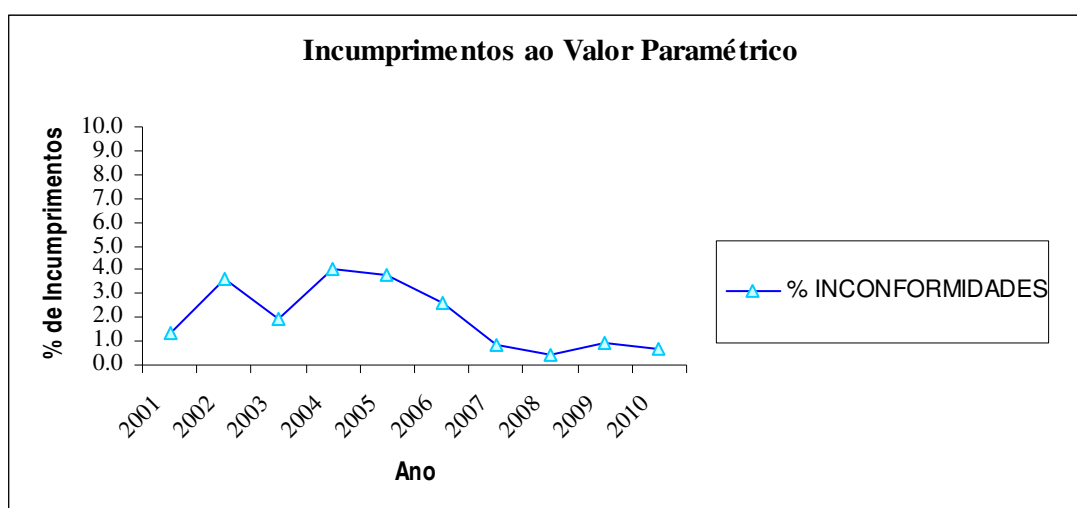


Figura 3.48 Incumprimentos ao valor paramétrico.

Analisando os incumprimentos discriminadamente, verifica-se que a maior incidência dos

incumprimentos, no total de parâmetros determinados com valor paramétrico, reside nos coliformes totais e fecais (assim designados até entrada vigor do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto onde se passou a determinar apenas a espécie *E. coli*), nos nitratos e nos fluoretos.

No que se refere às bactérias coliformes, este grupo de microrganismos patogénicos é facilmente removido da água, bem como outros tipos de microrganismos, através da desinfecção. Ora, a cobertura em termos de desinfecção da água distribuída pelos SMAS de Ponta Delgada atingiu os 100% em 2009, justificando-se, de uma forma geral, a diminuição do número de incumprimentos com o crescimento dos meios conducentes à desinfecção integral da rede de abastecimento.

No que se refere ao parâmetro nitratos, apenas a zona de abastecimento Feteiras -Zona Baixa se aproxima bastante do valor paramétrico de 50 mg/L (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto). A causa desta contaminação é conhecida e prende-se com a inexistência de um perímetro de protecção para as captações que a alimentam, nomeadamente as nascentes Chã dos Tanques e Tio Melo. A actividade agropecuária existente a montante destas captações é a fonte de contaminação, encontrando-se os SMAS de Ponta Delgada a tentar a aquisição dos referidos terrenos.

Relativamente ao parâmetro fluoretos, tratando-se de uma manifestação relacionada apenas com contaminação de origem natural torna-se difícil o seu controlo, pelo que este estudo pretende consolidar uma solução eficiente que vá ao encontro do cumprimento da legislação e da garantia da saúde pública.

As manifestações de fluoretos, determinados no âmbito do PCQA anual em amostras de água na torneira do consumidor, tendem a persistir em algumas zonas de abastecimento, como se pode verificar na Figura 3.49, onde se apresentam os valores mínimos, médios e máximos de fluoretos para as diferentes zonas de abastecimento, no período compreendido entre 2004 e 2010.

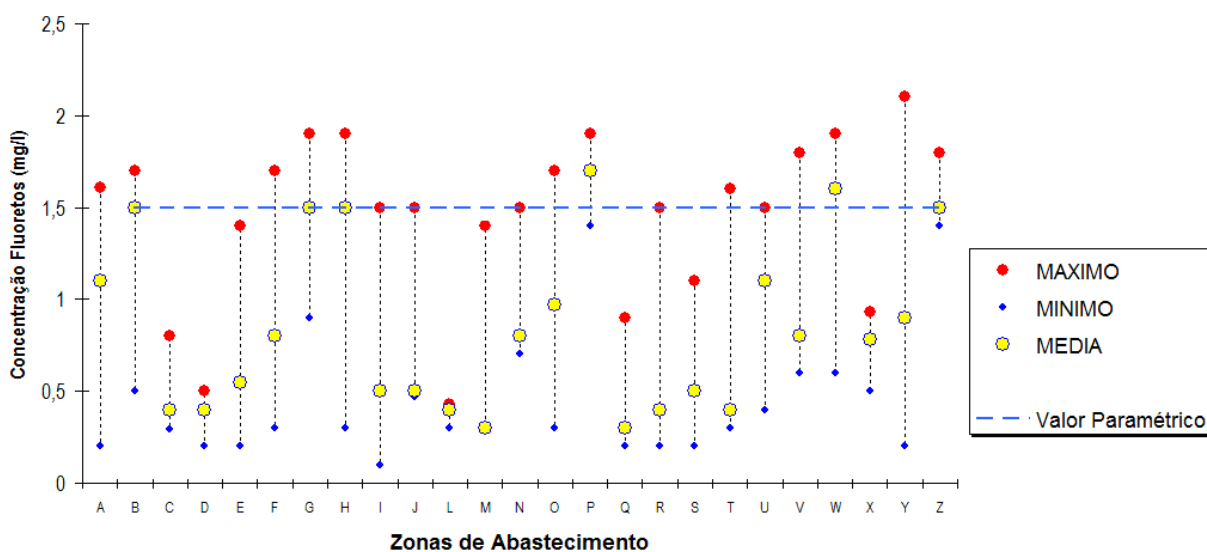


Figura 3.49. Séries temporais para o parâmetro fluoreto nas zonas de abastecimento dos SMAS de Ponta Delgada, de 1998 a 2010 (as zonas de abastecimento estão representadas de A a Z).

A interpretação da figura anterior permite concluir que as zonas de abastecimento de Arrifes, Bretanha e Remédios, Chã do Rego de Água e São Roque, Fajã de Baixo, Fajã de Cima, Mosteiros Sul, Mosteiros e Bretanha, São José, São Vicente e Fenais da Luz, Sete Cidades e pontos de entrega em alta à Lagoa e à Ribeira Grande, apresentaram, ao longo do período 2004-2010, valores superiores a 1,5 mg/L, considerando-se as zonas de Mosteiros e Bretanha e de S. José as mais problemáticas, por apresentarem valores médios, neste mesmo período, superiores a 1,5 mg/L. Contudo, as zonas de abastecimento de Bretanha e Remédios, Fajã de Baixo, Fajã de Cima e o ponto de entrega em alta à Ribeira Grande, são zonas potencialmente problemáticas pois os valores médios de fluoreto são iguais ao valor paramétrico definido por lei.

CAPÍTULO 4 – FLUORETOS E SUA MOBILIDADE NO AMBIENTE

O flúor é o elemento mais leve do grupo dos halogénios e também o mais electronegativo da tabela periódica e raramente existe isolado sendo, por isso, habitualmente designado por fluoreto (Tylenda, 2003). Possui um raio iónico muito semelhante ao OH⁻, substituindo-o rapidamente na posição do hidroxilo nos minerais das rochas ígneas.

Na natureza, o flúor encontra-se sob a forma de um ião (F⁻), podendo se encontrar em associação com o cálcio (fluorite), fósforo, alumínio e também como parte de certos silicatos como o topázio.

Este elemento existe naturalmente nas rochas, plantas, ar, água e solo e ainda faz parte de alguns materiais plásticos e fertilizantes (entrando na cadeia alimentar) sob a forma de fluoretos. Eles entram na atmosfera através das emissões vulcânicas e através da acção do vento sobre o solo (Tylenda, 2003).

O flúor é bastante móvel sob altas temperaturas e, sendo um elemento leve e volátil, é encontrado junto com o boro e com o cloro, este em menor quantidade, nas soluções hidrotermais e, por este motivo, são encontradas concentrações consideráveis de fluoreto no meio geológico (Selinus *et al.*, 2005).

Na Figura 4.1 apresenta-se o ciclo hidrogeoquímico do flúor, onde é esquematizada a sua mobilidade no ambiente.

4.1. MOBILIDADE NO SOLO

Os fluoretos representam cerca de 0.09% da crosta terrestre, sendo o 13^o elemento em ordem de abundância (Lindahl and Mahmood, 1994 *in*: Tylenda, 2003.)

No solo, o conteúdo em fluoretos pode variar entre 30 e 500 ppm, aumentando de concentração nas

camadas mais profundas (PNPSO, 2005; Kabata-Pendias & Pendias, 1984 *in* Selinus *et al.*, 2005). Os fluoretos são incorporados nos solos através da alteração das rochas e minerais e fenómenos de erosão subsequentes, através da deposição seca ou húmida, natural ou antropogenicamente induzida, ou ainda através de resíduos orgânicos vegetais ou animais (Tylenda, 2003).

As concentrações mais elevadas são encontradas nas rochas ígneas ácidas e nas formações sedimentares onde as reacções biogeoquímicas já tiveram lugar (Selinus *et al.*, 2005).

A fonte natural mais importante na produção de fluoretos, incluindo o fluoreto de hidrogénio e o fluoreto de sódio, é o mineral fluorite (CaF_2), ocorrendo em depósitos hidrotermais secundários (Selinus *et al.*, 2005). Outros minerais de flúor importantes são a fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) e o crisótilo (Na_3AlF_6) (Tylenda, 2003).

O flúor ocorre nos minerais primários, especialmente em biotites e anfíbolos onde ele substitui o grupo hidroxilo (OH^-) na posição por este ocupado na estrutura do mineral.

Submetido a fenómenos de alteração, relacionados com intempéries, o flúor tende a ser libertado, preferencialmente, destes minerais. O granito, por exemplo, possui na sua constituição biotites e anfíbolos, pelo que a água em contacto com este tipo de rocha, irá ter maior probabilidade de possuir maior concentração de fluoreto na sua composição.

O flúor concentra-se nos sedimentos marinhos como resultado da sua adsorção em argilas e como subproduto dos processos biogeoquímicos que envolvem a remoção de fósforo (Selinus *et al.*, 2005).

Grandes concentrações de fluoreto são encontradas nos fertilizantes fosfatados (8 00 - 38000 mg/Kg) e, em menor quantidade, nas lamas desidratadas do tratamento de águas residuais (80 - 1950 mg/Kg), compostos que, após aplicados no solo, são fonte de introdução antropogénica de flúor no solo (Kabata-Pendias & Pendias, 1984 *in* Selinus *et al.*, 2005).

A contaminação do solo através de fluoretos atmosféricos perto de fontes industriais reflecte o gradiente da deposição de fluoretos. Num estudo de Polomski *et al* (1982), a concentração total em fluoretos encontrada a uma distância de 8,8 km variou de 2700 a 616 $\mu\text{g/g}$ de fluoretos totais no solo e

a fracção de água extraída apresentou uma concentração de 292 a 10 µg/g (Tylenda, 2003).

Como fontes industriais, salientam-se a queima de carvão, refinação de alumínio, metalúrgica, fabrico de tijolos, produção de fertilizantes fosfatados, fabrico de vidro e cerâmica, entre outras menos significativas.

A quantidade de flúor adsorvido pelos solos varia com o tipo de solo, com o pH do solo, com a salinidade e com a concentração de fluoreto existente. A adsorção é favorecida em condições ligeiramente ácidas, sendo que a adsorção em solos ácidos pode ser 10 vezes superior que em solos alcalinos (Selinus *et al.*, 2005).

4.2. MOBILIDADE NO AR

No ar, a concentração normal de fluoretos ronda os 0,05 a 1,90 µg/m³ (Diegues, P., 2003 *in* PNPSO, 2005).

Os vulcões emitem fluoreto de hidrogénio e flúor gasoso. O flúor, sendo um elemento extremamente reactivo, rapidamente se hidrolisa formando fluoreto de hidrogénio e oxigénio. O fluoreto de hidrogénio reage com muitos materiais, tanto na fase de vapor como em aerossóis. Os aerossóis marinhos também libertam pequenas quantidades de fluoreto de hidrogénio gasoso e de sais de fluoreto na atmosfera. (Friend, 1989 *in* Tylenda, 2003).

As emissões antropogénicas de fluoreto incluem a combustão de materiais contendo flúor, que libertam no ar fluoreto de hidrogénio e fluoreto sob a forma de partículas. O carvão contém pequenas quantidades de flúor, e as centrais eléctricas alimentadas a carvão constituem uma grande fonte de emissão antropogénica de fluoreto de hidrogénio. De acordo com o Inventário de Emissões Químicas Tóxicas, os sectores industriais que mais contribuíram para a emissão de fluoretos foram as centrais eléctricas (TRI – EPA, 2001 *in* Tylenda, 2003).

As emissões totais anuais de fluoreto de hidrogénio registadas em 1998, 1999, 2000 e 2001, foram de

64,1, 58,3, 58,3 e 55,8 milhões de toneladas, respectivamente. As maiores fontes de emissão provêm de centrais de produção de alumínio e de produção de fertilizantes fosfatados. Ambos os sectores emitem fluoreto de hidrogénio e fluoreto em forma de partículas (EPA, 1998). Outras indústrias registadas como emissoras de fluoreto de hidrogénio são a produção de aço, magnésio, tijolos e argila.

Na atmosfera, o fluoreto de hidrogénio gasoso irá ser absorvido pela água atmosférica formando aerossóis ou uma névoa de ácido fluorídrico aquoso. A remoção do fluoreto de hidrogénio da atmosfera é feita, principalmente, por deposição húmida. O flúor particulado será removido de forma semelhante, sendo depositado no solo ou na superfície da água através da deposição seca e húmida.

4.3. MOBILIDADE NA ÁGUA

Fontes naturais de fluoreto na água resultam, principalmente, da alteração das rochas contendo flúor. As águas de escoamento incorporam os fluoretos na sua constituição, que, através da lixiviação, arrastam os fluoretos para as águas subterrâneas (Tylenda, 2003). A precipitação atmosférica ataca as rochas da crosta terrestre e o solo, mas dissolve pouca quantidade de fluoretos. A maior parte dos fluoretos mobilizados durante o desgaste estão ligados a sólidos como as argilas.

Nas águas naturais, os fluoretos formam fortes complexos com o alumínio na água, e a química do flúor na água é amplamente regulada pela concentração de alumínio e pelo pH (Skjelkvale, 1994 *in* Tylenda, 2003). Abaixo de pH 5, o fluoreto é quase todo complexado ao alumínio e, conseqüentemente, a concentração de F^- é baixa. À medida que o pH aumenta, os complexos de $AlOH$ dominam sobre os complexos de AlF e os níveis de F^- aumentam. As formas de fluoreto estabelecem complexos com o cálcio e o magnésio presentes na água do mar, e a precipitação de carbonato de cálcio promove a remoção de fluoreto dissolvido da água do mar (Carpenter, 1969 *in* Tylenda, 2003).

A fluoretação da água também é uma forma de introdução de flúor nos meios hídricos, ocorrendo sempre que há carência de fluoreto na água distribuída para consumo humano, visando diminuir a probabilidade de contracção de cárie dentária.

A precipitação constitui um componente importante do ciclo do flúor. As origens de flúor na água da

chuva incluem os aerossóis marinhos, as emissões vulcânicas, a introdução de clorofluorcarbonetos (CFCs) e as emissões industriais. Considerando apenas a contribuição dos aerossóis marinhos, a concentração de fluoreto na água da chuva é baixa, podendo variar entre os 0,68 µg/l no litoral e os 0,1 µg/ em áreas continentais (Tylenda, 2003).

A concentração típica em fluoreto nas águas superficiais costuma ser bastante superior, porém, normalmente são observados teores inferiores a 300 µg/L. Contudo, as águas superficiais em zonas geotermiais, tendem a ser bastante superiores e há, por exemplo, muitos lagos alcalinos localizados no Rifte Este Africano que apresentam concentrações na ordem das dezenas e das centenas de mg/L. Só o Lago Magadi (Tanzânia) apresenta como valor de concentração máximo registado, 1980 mg/L em fluoreto.

A ocorrência de flúor nas águas naturais subterrâneas está relacionada com a sua abundância nas rochas dos aquíferos. Também está fortemente associada à solubilidade dos minerais e, neste ponto de vista, o mineral fluorite, que é pouco solúvel e possui um coeficiente cinético favorável a baixas temperaturas, exerce o controlo principal nas concentrações aquosas no ambiente natural. O limite máximo da actividade do fluoreto em solução é controlado pelo produto das actividades iónicas (IAP) e pela constante de equilíbrio da reacção, K_{fluorite} :



$$K_{\text{fluorite}} = (\text{Ca}^{2+}) \cdot (\text{F}^-)^2 = 10^{-10,57} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\text{ou, } \log K_{\text{fluorite}} = (\text{Ca}^{2+}) + 2\log (\text{F}^-) = -10,57$$

Esta é uma relação importante pois mostra que, na presença de fluorite, as concentrações de fluoreto são inversamente proporcionais às concentrações de cálcio. Por exemplo, na presença de 10^{-3}M de cálcio, a 25°C , o flúor dissolvido deverá estar limitado à concentração máxima de 3,1 mg/L. A ausência de cálcio em solução, permite concentrações elevadas de fluoreto para que seja estável em solução. Tais condições são conseguidas em regiões vulcânicas, dominadas por rochas vulcânicas alcalinas e também em condições onde a troca de catiões ocorre naturalmente. Neste caso, a remoção de cálcio (Ca^{2+}) é conseguida pela troca com o ião sódio (Na^+) nos minerais de argila. Em ambos os casos, as águas são tipicamente de fácies Na-HCO_3 , com concentrações baixas em cálcio ($< 20 \text{ mg/l}$) e com pH neutro a alcalino (7-9) (Selinus *et al.*, 2005).

A solubilidade da fluorite depende da temperatura, decrescendo com a diminuição desta e isso reflecte-se com uma mudança na constante de equilíbrio. Por exemplo, $\log K_{\text{fluorite}}$ varia de -10,57 a 25°C para 10,8 a 10°C. A constante de equilíbrio é ainda afectada pela força iónica e a solubilidade aumenta com o aumento da mineralização da água.

Nas zonas húmidas tropicais, a concentração de fluoreto nas águas captadas tende a ser menor devido à entrada elevada de água da chuva que provoca um efeito de diluição na composição química da água (Selinus *et al.*, 2005).

De acordo com a concentração de fluoreto na água, a água pode ser classificada da seguinte forma:

- < 0,1 mg/l – Não fluoretada
- 0,1-0,6 mg/l – Subfluoretada
- 0,6-0,8 mg/l – Fluoretada
- > 0,8 mg/l - Superfluoretada (Ramires *et al.*, 2004).

4.3.1 MECANISMOS DE FLUORETAÇÃO

A contaminação por flúor pode ocorrer por factores naturais em águas subterrâneas e também pode ser gerada pela actividade humana, principalmente nas indústrias de alumínio, onde o flúor é utilizado no processo de electrólise ígnea do sulfato de alumínio, nas indústrias de fertilizantes, onde o flúor é introduzido através da fluorapatite e libertado na produção de ácido fosfórico, nas indústrias metalúrgicas e cerâmicas, onde é utilizado como fundente, e no sector nuclear, onde todo o ciclo de enriquecimento de urânio é efectuado através do uso de compostos fluorados. (Alvarinho & Martinelli, 2000).

A combustão do carvão produz resíduos de cinzas volantes, um pó excessivamente fino, sendo extremamente reactivo. Este pó contém elevadas concentrações de elementos potencialmente prejudiciais, podendo conter elevadas concentrações de arsénio, boro, cádmio, crómio, cobre, flúor, germânio, chumbo, molibdénio, níquel, selénio e zinco e grandes quantidades de enxofre na forma do

anião sulfato. Actualmente, estas cinzas são reutilizadas na produção de tijolos no uso da construção civil, sendo também utilizadas como aditivo para os solos com vista a neutralizar a sua acidez (Selinus *et al.*, 2005).

A produção de ferro, para além de libertar vanádio também pode libertar flúor devido ao uso do mineral fluorite (fluoreto de cálcio) como um fluxo do processo.

A fluoretação natural, descrita nos capítulos anteriores, tem a sua maior contribuição na interacção água-rocha, principalmente quando se tratam de rochas vulcânicas, ricas em flúor na sua estrutura mineral. Atendendo que a presença de fluoreto na água é benéfico para a saúde, na medida em que o organismo humano necessita deste elemento para satisfazer as necessidades biológicas, existem situações em que se torna útil a fluoretação da água.

A fluoretação da água é um método reconhecido na prevenção de carie dentária quando utilizada para atingir a concentração ideal. Ultrapassando os valores paramétricos torna-se um factor de risco para o surgimento da fluorose dentária. A ingestão óptima diária recomendada de flúor é de 0,05 a 0,07 mg/kg peso corporal (Burt, 1992 *in*: Ramires *et al.*, 2004) e muitas entidades públicas de abastecimento de água adicionam fluoretos água de forma a atingir os níveis óptimos como medida de saúde pública.

Segundo a OMS (1996), o valor mínimo a partir do qual as cáries dentárias poderão surgir devido à carência de flúor, é de 0,5 mg/l.

Os compostos comumente aplicados durante o tratamento da água são o fluoreto de sódio, o fluossilicato de sódio e o ácido fluorsilícico. Também poderá ser usado o fluoreto de cálcio em águas que apresentem baixa dureza cálcica (Viessman & Hammer, 1998).

Segundo Melo (2004), o fluoreto de sódio comercial é apresentado em forma de pó fino e granulado, com pureza de 95% e com uma percentagem aproximada de 45% de F. Possui uma solubilidade quase constante e o pH da solução a 1% é igual a 6,5 e o da solução saturada situa-se entre 6,0 e 7,0, não sendo corrosiva.

O fluossilicato de sódio (sílico-fluoreto de sódio) é um pó cristalino, de tom branco-amarelado, não higroscópico e sem água de cristalização. A sua solubilidade é muito baixa e o pH de uma solução de fluossilicato de sódio é 3,5. Por ser muito corrosiva, requer cuidados especiais na manipulação. O produto é vendido em embalagens de 25 a 50 kg, de fácil armazenamento, apresentando, em termos económicos, uma pequena desvantagem em relação ao ácido fluossilícico.

O ácido fluossilícico é um líquido incolor, que requer equipamentos mais simples para as dosagens, sendo economicamente mais vantajoso. É obtido como subproduto do processo de produção de fertilizantes. São transportados em camiões cisternas ou em cisternas de 1m³, mas de armazenamento mais difícil e apresentam manuseio e transporte perigosos.

O fluoreto de cálcio possui uma solubilidade baixa. É solúvel em ácidos e também em solução de sulfato de alumínio. Praticamente não é utilizado na fluoretação devido às inúmeras dificuldades de sua aplicação, apesar de oferecer vantagens do ponto de vista económico.

Dos produtos acima descritos, os mais utilizados são o ácido fluossilícico e o fluossilicato de sódio. O fluossilicato de sódio era o composto mais utilizado, tendo sido substituído pelo ácido fluossilícico em diversas estações de tratamento de água, pois, apesar da corrosividade do ácido, o facto deste se apresentar na forma líquida facilita sua aplicação e o controle seguro das dosagens, condição fundamental para a fluoretação. Por seu turno, o fluoreto de sódio é muito caro e, tanto ele como o fluoreto de cálcio, são pouco solúveis (Melo, 2004).

4.3.2 MECANISMOS DE DESFLUORETAÇÃO

Conforme será melhor retomado no Capítulo 7, o consumo diário de água com concentrações elevadas de fluoreto, poderá conduzir a uma doença denominada por fluorose dentária, e, perante concentrações superiores, pode ainda conduzir à fluorose esquelética.

A legislação nacional, à semelhança do limite definido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), considera que o valor máximo a considerar para o fluoreto na água para consumo humano, é de 1,5 mg/L (Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto).

Os tratamentos que permitem reduzir a concentração da água em fluoretos, reduzindo também a concentração em outros aniões e/ou catiões, não são considerados métodos de desfluoretação. Eles são a destilação, a osmose inversa, a electrodiálise e a permuta iónica. Porém, ainda não é possível remover apenas o ião fluoreto sem alterar a concentração dos outros parâmetros. Neste contexto, a desfluoretação é usada para designar métodos que reduzam expressivamente o ião fluoreto na água mas que não originam alterações significativas na qualidade da água tratada (Dahi, 2009).

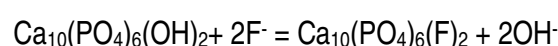
A tecnologia aplicada na desfluoretação tem que ser simples, acessível, confiável e operacional, pelo menos a nível doméstico, institucional e comunitário. Assim sendo, os três processos que reúnem estas características são (Dahi, 2009):

- Sorção em colunas de filtração (*bone char*, alumina activada e argila)
- Precipitação por contacto (técnica de Nalgonda)
- Co-precipitação (adição de compostos de cálcio e fosfato).

4.3.2.1. DESFLUORETAÇÃO POR SORÇÃO

No processo de sorção, são utilizados compostos como o *bone char*, alumina activada ou a argila, com capacidades adsorptivas, colocadas de preferência em colunas de filtração cujo período de operação é limitado pelo grau de saturação do meio. Após saturado, o meio utilizado deverá se substituído ou regenerado (Dahi, 2000).

O *bone char* são grãos enegrecidos e porosos que, de forma limitada, são capazes de absorver uma grande variedade de poluentes, como a cor, o sabor e o cheiro. Além disso, o *bone char* tem a habilidade específica para remover o fluoreto da água. Esta capacidade deve-se à sua composição química, nomeadamente a presença de hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, onde ambos os grupos hidroxilo podem ser substituídos pelo flúor. A reacção principal é a seguinte:



O *bone char* apresenta uma composição aproximada de 57 a 80% de fosfato de cálcio, 6 a 10% de

carbonato de cálcio e 7 a 10% de carvão activado.

Um *bone char* de boa qualidade é fabricado através do aquecimento homogéneo de osso em fornos, a uma temperatura inferior a 50°C, mas não demasiado baixa, e com admissão limitada de oxigénio.

O *bone char* é o agente de desfluoretação mais antigo, usado desde os anos 40 nos Estados Unidos da América (EUA), uma vez que era um material abundante e acessível por ser utilizado na indústria do açúcar.

Com a evolução dos tempos, a utilização do *bone char* no tratamento de água foi sendo substituída pela alumina activada e por resinas específicas que promovem a troca iónica. Considerações éticas relacionadas com o uso de ossos animais no tratamento de água poderão estar na origem deste desuso. A ideia de que o seu uso poderá conferir passagem de matéria orgânica para a água, é um mito. Após reduzido a carvão, o *bone char* encontra-se completamente mineralizado, sendo que a sua coloração negra reflecte a presença de carvão activado. O *bone char* continua a ter grande aplicação na Tailândia e em África (Dahi, 2000).

Normalmente, o processo de sorção é materializado numa coluna filtrante, onde o procedimento de saturação dá-se em “Plug Flow”, ou seja, a saturação do meio de enchimento é superior no topo comparativamente ao fundo, decrescendo gradualmente com a profundidade. Em sistemas tipo balde, com maior área superficial de admissão de água, e com menor profundidade, o procedimento de saturação dá-se em “Total Mix”, onde o ponto médio de saturação está em equilíbrio com a água tratada. Este sistema diminui, significativamente, a capacidade de utilização dos filtros, em relação ao mesmo processo levado a cabo em colunas.

A regeneração do meio pode ser feito através de uma adição de solução 1% de hidróxido de sódio até atingir o ponto de equilíbrio, lavando-o de seguida com soda cáustica de forma a neutralizá-lo. Provavelmente, a regeneração é economicamente viável apenas em grande escala ou em caso de existir restrições na sua disponibilidade. Tratando-se de pequenas quantidades, como por exemplo, no tratamento de água para um pequeno aglomerado populacional, é ambientalmente aceitável reutilizar o meio saturado como fertilizante e condicionador do solo, e voltar a adquirir meio filtrante.

A alumina activada consiste em grãos de óxido de alumínio (Al_2O_3) preparados de forma a conferirem uma superfície adsortiva.

Quando a água passa por uma coluna contendo alumina activada, os poluentes, e outros componentes presentes na água, são adsorvidos na superfície dos grãos. Gradualmente, a coluna vai tornando-se saturada, com concentrações superiores em cima, diminuindo de concentração até à base. Há medida que a água vai passando pela zona saturada, vai entrando em contacto com as camadas não saturadas a jusante, e, com o decorrer do tempo, a coluna fica totalmente saturada.

A saturação total significa que a concentração de flúor na água tratada (efluente) vai aumentar até atingir o mesmo valor que a água afluente. Portanto, a saturação total da coluna deve ser evitada, sendo que a operação decorrerá até atingir a *break point* (ponto de ruptura) certo, onde a concentração do efluente é, por exemplo, 1,5 mg/L (valor paramétrico estipulado em Portugal).

O volume tratado desde o início da operação até atingir o ponto de ruptura da coluna é apresentado por V . A razão entre V e o volume utilizado de alumina activada, permite obter um parâmetro operacional padrão designado por número de volumes do leito ou *Bed Volumes* (BV). O BV é uma expressão que reflecte a capacidade de tratamento da coluna de sorção e indica quando a coluna precisa ser renovada ou regenerada. O BV é, também, altamente dependente da concentração de água bruta de flúor.

Filtros de alumina são comercializados, por exemplo, na Escandinávia, para fins domésticos. Para evitar que o consumidor tenha que monitorizar a concentração de fluoretos à saída, a saturação da água é controlada pelo parâmetro BV. Após tratar 2 m³ de água com uma concentração de 5 mg/L, o equivalente a 250 BV, a unidade de tratamento alerta-nos para a substituição de 8 kg de alumina activada (Figura 4.2).

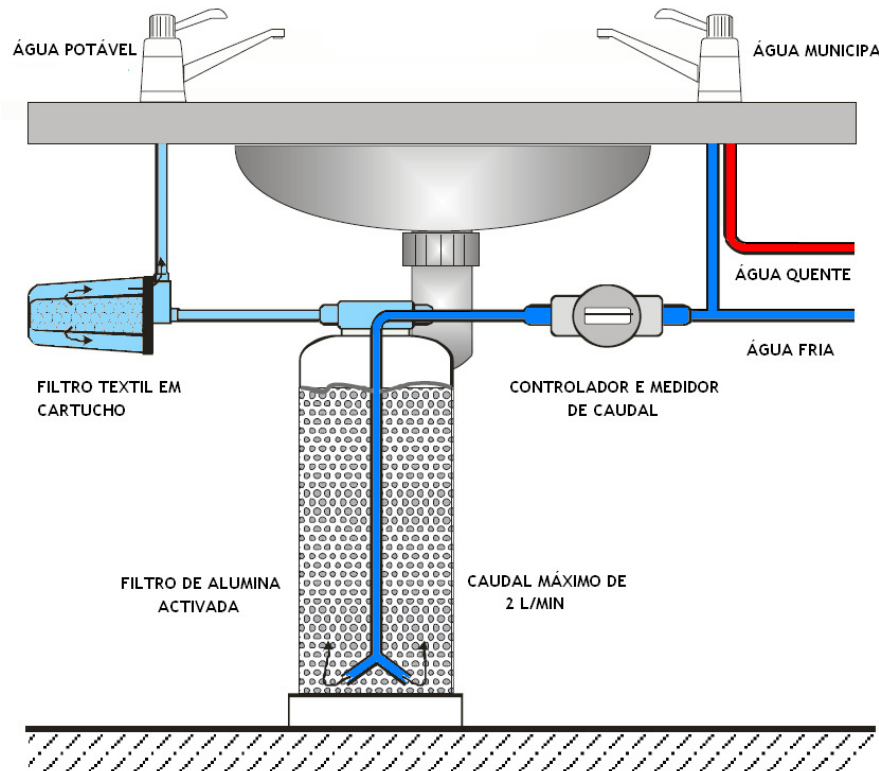


Figura 4.2. Sorção em filtros de alumina activada (adaptado de Dahi, 2000).

4.3.2.2. DESFLUORETAÇÃO POR CO-PRECIPITAÇÃO

O processo de co-precipitação, também conhecido por técnica de Nalgonda, consiste na adição de sulfato de alumínio de forma a promover as condições de coagulação/floculação e posterior sedimentação de precipitado (lamas). A dosagem é projectada de forma a garantir a adequada remoção de flúor da água.

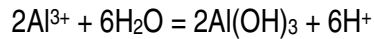
O sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) é dissolvido e adicionado à água sob agitação eficiente, de forma de garantir a mistura total inicial (mistura rápida seguida de uma mistura lenta). Rapidamente são produzidos pequenos flocos de hidróxido de alumínio que facilmente sedimentam num decantador de dimensões apropriadas. Durante o processo de floculação (mistura lenta seguida de período de repouso no decantador), todos os tipos de micropartículas e iões de carga negativa (incluindo o flúor)

são parcialmente removidos pela aderência electrostática aos flocos:

Dissolução do sulfato de alumínio:



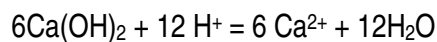
Precipitação do alumínio (reação acidificante):



Co-precipitação (Não estequiométrica):



Ajuste de pH:



Como a reação é acidificante, deverá haver um ajuste de pH com adição de cal. A adição de cal também torna os flocos mais pesados, facilitando a sedimentação. Neste processo é formada um grande volume de lamas.

A técnica de Nalgonda foi desenvolvida para ser utilizada em muitas zonas habitacionais de África, para uso doméstico, e também foi aplicada na Índia.

O tratamento de água é feito pelos consumidores num balde. Após adição de sulfato de alumínio e de cal, vendida em pacotes, o processo consiste em mexer rapidamente durante um minuto (contagem até 60) seguido de mistura lenta durante 5 minutos (contagem até 300). Os flocos formados são deixados sedimentar durante uma hora. Depois, a água limpa (parte superior) tem que ser removida para um outro balde de forma a ser utilizada durante o dia para beber e cozinhar. Não é recomendado que a água sedimente mais que 2 horas pois os flocos tendem a libertar os iões adsorvidos na sua superfície, de forma lenta e gradual.

Uma estimativa das quantidades necessárias de sulfato de alumínio pode ser calculada usando a fórmula de Freundlich desenvolvida por Dahi *et al* em 1997:

$$A = \frac{(Fr - Ft) \cdot xV}{\alpha x Ft^{1/\beta}}$$

Onde,

A, é a quantidade de sulfato de alumínio requerida, g

Fr, é a concentração em fluoretos na água bruta, mg/l

Ft, é a concentração residual em fluoretos na água tratada, mg/l

V, é o volume da água a ser tratada, l

α , é a constante que traduz a capacidade de sorção, $l(1-1/b) \times mg^2/b \times g^{-1}$

β , é a constante que traduz a intensidade de sorção.

Qualquer pH resultante compreendido entre 6,2 e 7,6 está dentro dos valores ótimos. Para um pH=6,7, e para atingir um flúor residual entre 1 e 1,5 mg/L, $a=6$ e $b=1,33$. A quantidade de cal necessária para atingir o pH ideal é difícil de ser estimada, uma vez que depende da qualidade da cal, da alcalinidade e do pH da água bruta e da eficiência de remoção de fluoreto. A adição de cal pode corresponder de 20 a 50% da dose sulfato de alumínio.

Contudo, quando as dosagens de sulfato de alumínio atingem os 700 a 1 200 mg/L (caso das águas africanas com concentrações elevadas em fluoretos), a quantidade de sulfato residual presente na água tratada começa a ser prejudicial à saúde, para além da elevada quantidade de lamas produzidas ricas em flúor. A passagem de alumínio para a água tratada também é discutível, muito embora, como o alumínio integra o próprio floco, é mais fácil de controlar a sua passagem para a água com uma optimização dos tempos de retenção no processo de sedimentação. E de forma a tornar este processo mais eficiente, é aconselhado uma filtração posterior de forma a conferir uma segunda barreira (Dahi, 2000).

Na Figura 4.3. está representado um esquema representativo do processo de co-precipitação.

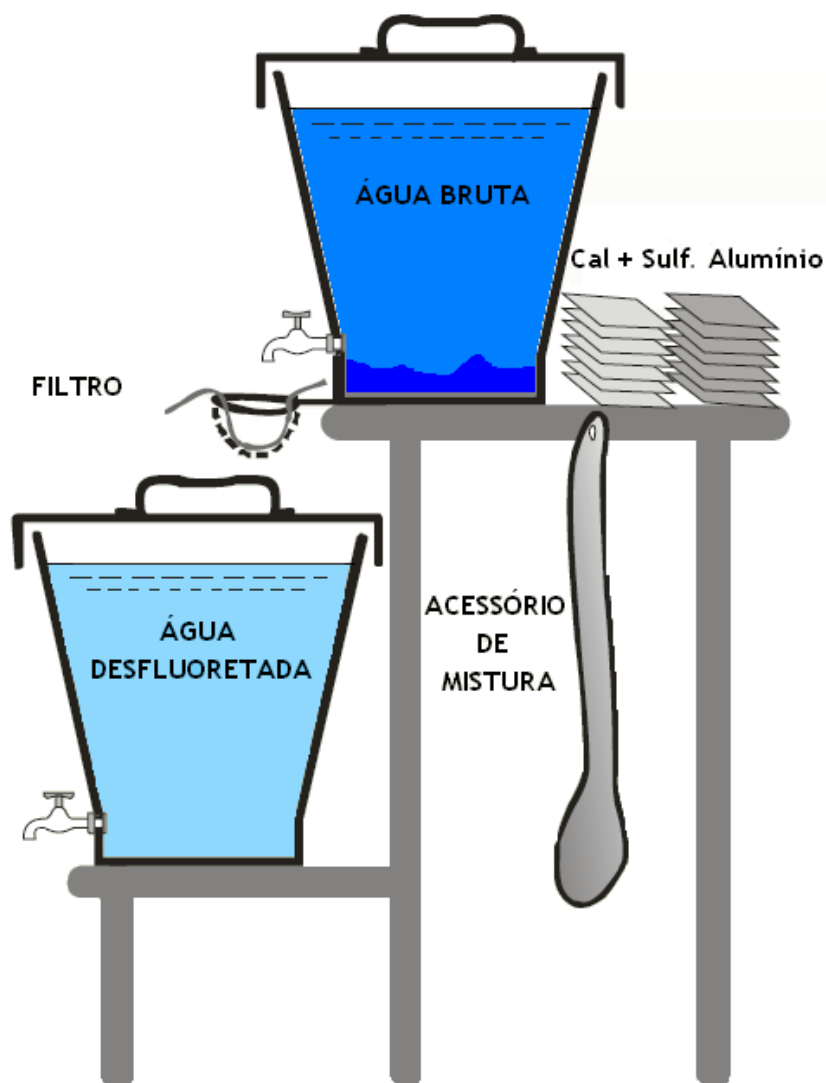


Figura 4.3. Processo de co-precipitação (adaptado de Dahi, 2000)

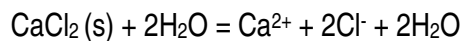
4.3.2.3. DESFLUORETAÇÃO POR CONTACTO

A precipitação por contacto é uma técnica descoberta recentemente, em que o flúor é removido da água através da adição de cálcio e de compostos de fosfato, seguida da filtração da água num meio de *bone char* saturado. A mistura de cálcio, fosfato e flúor numa solução promove, na teoria, a

precipitação de fluorapatite. Contudo, devido à inércia da reacção, é praticamente impossível. Mais recentemente descobriu-se que a precipitação é facilmente catalisada através do contacto com um meio filtrante, facilitando a precipitação.

Usando cloreto de cálcio e dihidrogenofosfato de sódio como reagentes químicos, as seguintes equações ilustram a remoção de fluoretos por precipitação:

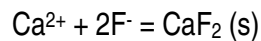
Dissolução do cloreto de cálcio:



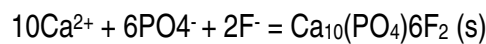
Dissolução do dihidrogenofosfato de sódio:



Precipitação do fluoreto de cálcio:



Precipitação da fluorapatite:



Como o meio filtrante não participa quimicamente na reacção, não necessita de ser regenerado ou substituído, pois o precipitado formado apenas se acumula no topo do filtro. A única rotina diária exigida é a de adicionar os dois produtos químicos à água, de forma proporcional à quantidade de água a tratar.

O processo de desfluoretação por contacto parece ser promissor, uma vez que implica uma carga de trabalho diária relativamente baixa, uma elevada fiabilidade, sem a necessidade de vigilância de caudal ou da concentração do efluente, alta eficiência de remoção, mesmo em elevadas concentrações de fluoretos na água bruta, tem baixo custo de operação e sem risco de saúde pública em caso de sobredosagem de produtos químicos.

Quaisquer compostos de cálcio e fosfato poderão ser usados neste processo. No entanto, é importante transformar os produtos químicos em solução antes da mistura com a água. Como reagentes, poderão ser utilizados o cloreto de cálcio e o dihidrogenofosfato de sódio. Ambos os compostos são facilmente dissolvidos em água, apresentam um custo reduzido e são largamente utilizados. O cloreto de cálcio comercial é fabricado em flocos contendo 77-80% de cloreto de cálcio. O dihidrogenofosfato de sódio é

um produto é fabricado em grânulos contendo 24% de fósforo e 20% de sódio. A densidade dos produtos químicos é de 1,04 para o cloreto de cálcio e de 0,95 para o dihidrogenofosfato de sódio.

A velocidade de percolação da água bruta após misturada com os produtos acima referidos, não deverá exceder os 5 m/h, velocidade regulada através de uma válvula que permite controlar o caudal.

Esta técnica é utilizada há muito tempo na Tanzânia, onde a concentração de flúor é de cerca de 10 mg/L. Também é utilizado este método no Quênia (Dahi, 2000).

Nas Figuras 4.4 e 4.5, ilustra-se o processo utilizado de precipitação por contacto utilizado em Arusha, Tanzânia, para uso habitacional e para uso comunitário, respectivamente.

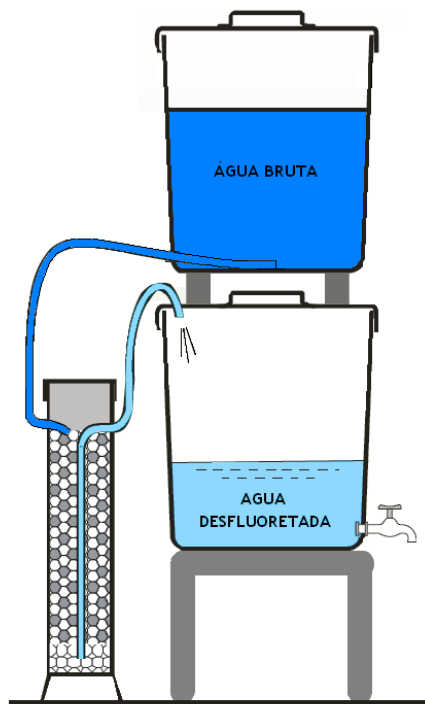


Figura 4.4. Instalação de desfluoretação (precipitação por contacto) para uso habitacional em Arusha, Tanzânia (adaptado de Dahi, 1998 in Dahi, 2000)

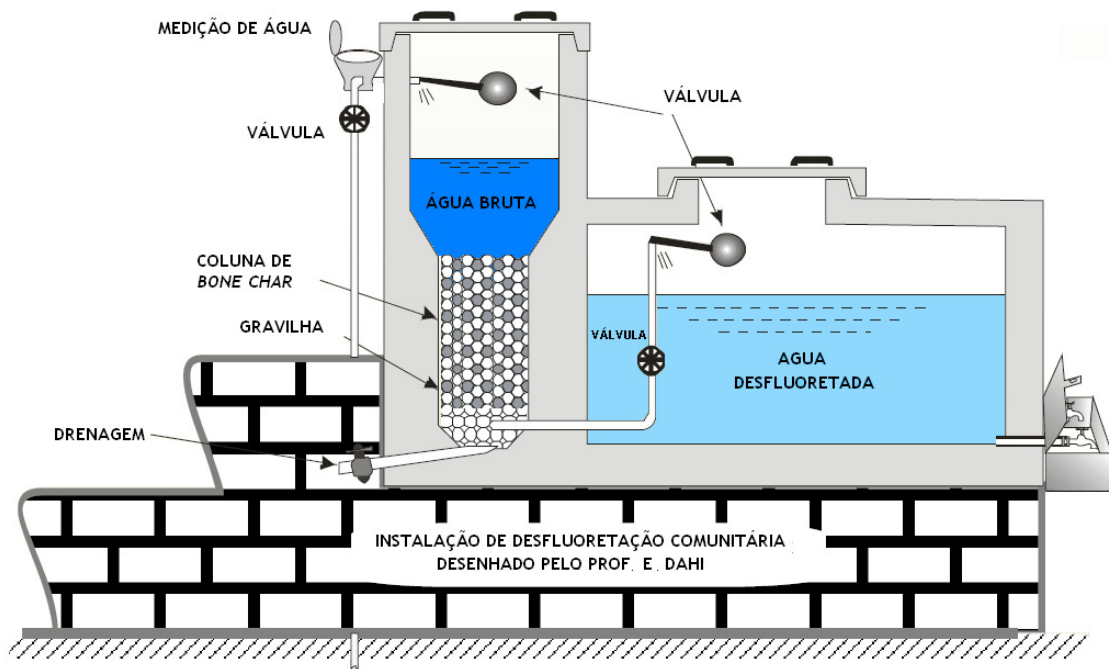


Figura 4.5. Instalação de desfluoretação (precipitação por contacto) para uso comunitário em Arusha, Tanzânia (adaptado de Dahi, 1998 *in* Dahi, 2000).

4.3.3 CASOS DE ESTUDO

As concentrações elevadas em fluoretos são encontradas naturalmente na água de abastecimento público nos seguintes casos (Selinus, *et al.*, 2005):

- a) Águas subterrâneas em aquíferos de base formados por rochas granitóides, onde os minerais ricos em flúor são abundantes;
- b) Zonas vulcânicas activas onde o flúor provém da interacção da água com as rochas vulcânicas, e com fontes hidrotermais;

c) Águas subterrâneas em certos sedimentos, particularmente em áreas áridas.

No primeiro caso, temos os exemplos da Índia, Sri Lanka e Zona Este do Senegal, onde os aquíferos de base são constituídos por granitóides, ricos em flúor, apresentando micas, apatites e anfíbolos.

No segundo caso, registam-se que as águas geotermais são alcalinas e cloretadas, com pH perto de neutro. Nestes casos, as concentrações de fluoreto podem atingir valores entre 1 e 10 mg/l (Ellis & Mahon, 1977 *in*: Selinus, *et al.*,2005), e as águas normalmente apresentam concentrações elevadas em sílica, boro, arsénio, NH_3 e H_2S . Em condições extremamente ácidas, as concentrações nas fontes hidrotermais podem atingir valores superiores a 1 000 mg/L (Ellis, 1973 *in* Selinus, *et al.*,2005), com fluoreto dissolvido na forma de HF, HF^{2-} e SiF_6^{2-} . São exemplos, os EUA, Nova Zelândia, Islândia, Taiwan, antiga União Soviética, França, Algéria, Tunísia e o Rifte Este Africano.

No terceiro e último caso, as águas subterrâneas de aquíferos sedimentares acumulam fluoreto com o tempo de residência, sendo as concentrações maiores verificadas em zonas áridas. Smedley *et al.*, (2002) garante que as concentrações de fluoreto são proporcionais ao pH e à concentração de HCO_3^- e sugere que o fluoreto é mobilizado em pH alto a partir dos sedimentos com minerais ricos em flúor. Por exemplo, na Argentina Central, os sedimentos são ricos em cinzas vulcânicas. São águas com um pH superior a 8, ricas em HCO_3^- e as concentrações de fluoreto são superiores a 29 mg/L. Outros exemplos são o Reino Unido, Sudão, Zona Oeste do Senegal, Tunísia e Líbia.

Num estudo de Handa (1975), acerca do excesso de fluoreto presente nas águas subterrâneas da Índia, verificou-se que as concentrações variavam conforme a base do aquífero. Nas zonas formadas por granito e por rochas vulcânicas, as concentrações rondavam os 1,5 mg/L e a presença de fluoreto na água devia-se à dissolução da fluorite (CaF_2) presente nestes termos litológicos. Porém, nas zonas associadas a rochas carbonatadas, e cuja água apresentava elevada concentração em cálcio, as concentrações de fluoreto eram inferiores a 1,5 mg/L, sugerindo uma relação negativa entre Ca e F nas águas subterrâneas da região de Sirohi (Índia).

Dissanayke (1991) estudou a incidência de fluorose dentária resultante das elevadas concentrações em fluoreto em 90% das águas existentes no Sri Lanka, em aquíferos de idade Pré-câmbrica formados

por rochas metasedimentares e metavulcânicas, gneisses e granitóides. São rochas ricas em minerais de flúor, tais como micas, hornblenda e apatite. Também podem conter, embora seja menos comum, fluorite, turmalina, esfena e topázio.

As águas subterrâneas do Sri Lanka têm muitas características em comum com muitos aquíferos noutros locais do mundo. Por exemplo, as águas são tipicamente neutras ou perto de neutras (pH entre 6 e 7,9) com elevada alcalinidade (713 mg/l HCO_3/l). Nos poços, também há presença de elevada mineralização (condutividades máximas de 3850 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo que esta resulta das reacções de interacção água-rocha e da evapotranspiração em condições climáticas semi-áridas.

As concentrações de fluoreto nestas águas subterrâneas atingem os 10 mg/l sendo responsáveis pela elevada incidência de fluorose dentária nas crianças. As concentrações das águas subterrâneas nesta ilha dependem, para além da geologia, isto é, do tipo de rochas que compõem os aquíferos, também do clima, uma vez que Dissanayke (1991) verificou que nas zonas de geologia semelhante, a existência de pluviosidade acentuada permite concentrações mais baixas de fluoreto na água.

Um estudo de Ashley e Burley (1994), revelou que algumas das concentrações mais elevadas de fluoreto em águas foram encontradas no Rifte Este Africano. Este Rifte estende-se desde a Eritreia, Djibouti, Etiópia, Quénia, Tanzânia, Uganda, Ruanda, Burundi e Malawi e as concentrações elevadas em fluoreto foram encontradas em águas subterrâneas, em nascentes termais, em lagos alcalinos e em alguns rios existentes nestes países.

Por exemplo, num estudo de Kilham & Heckley (1973), foram encontrados valores máximos de fluoreto de 1627 mg/L em lagos assentes sob rochas vulcânicas alcalinas, na Tanzânia, Quénia e Uganda. No Lago Magadi, localizado na Tanzânia e no Quénia, um estudo de Jones *et al* (1977) encontrou uma concentração máxima de 1980 mg/L.

As concentrações anómalas de fluoreto encontradas nas águas na zona Rifte Este Africano têm sido associadas a algumas fontes e processos. Contudo, estas concentrações estão associadas, em grande parte, à ocorrência de rochas vulcânicas hiperalcalinas, que incluem nefelina, escoadas lávicas carbonatíticas e depósitos de cinzas associadas, capazes de acumular grandes concentrações em

fluoreto. Por isso, as massas de água na zona do Rifte Este Africano podem acumular fluoreto directamente como resultado da alteração destas rochas, bem como a partir da influência de soluções geotermiais ricas em flúor.

As cinzas pequenas e finas também são consideradas como particularmente reactivas. A desagregação dos minerais silicatados presentes nas escoadas lávicas e nas cinzas através de reacções de hidrólise sobre os silicatos originam águas ricas em Na-HCO₃ (Jones *et al.*, 1977 in Selinus *et al.*, 2005), que são relativamente pobres em cálcio e magnésio. Por isso, elevadas concentrações de fluoreto podem ocorrer sem que a solubilidade da fluorite (CaF₂) seja um factor limitante.

Por ultimo, a villiaumite (NaF) poderá limitar as concentrações de fluoreto dissolvidas, mas uma vez que este mineral é bastante solúvel, o fluoreto pode atingir concentrações bastante elevadas antes deste limite ser atingido.

As águas subterrâneas e superficiais presentes no vale de Awash, na zona do Rifte Este Africano na Etiópia, apresentam concentrações elevadas de fluoreto. Num estudo de Ashley & Burley (1994), nas áreas de Wonji/Shoa e de Metahara, no vale de Awash, foram encontradas concentrações de 26 mg/L nas águas subterrâneas assentes num aquífero constituído por rochas vulcânicas, e concentrações de 4,3 mg/L na aluvião recente que recobre as rochas vulcânicas.

Ashley & Burley (1994), concluíram que o fluoreto era originado a partir das rochas vulcânicas e as grandes concentrações verificadas em solução eram mantidas pela dominância de iões de sódio sobre o cálcio nas águas subterrâneas. As concentrações diminuiriam ligeiramente na aluvião que sobrepõe as rochas como resultado do aumento das concentrações de cálcio, seguido da reacção com os minerais carbonatados nos sedimentos.

Os lagos alcalinos que preenchem as crateras de vulcões no Rifte Este Africano, apresentam alguns dos valores mais elevados de concentração em fluoreto. Tal como já foi dito, o lago Magadi, situado na Tanzânia e no Quênia, apresenta, num estudo levado a cabo por Jones *et al.* (1977), concentrações de fluoreto de 1980 mg/L, nas águas salinas superficiais. As águas do lago tinham evoluído para

concentrações salinas, em alguns casos com sólidos dissolvidos que excediam os 300000 mg/L. Segundo os autores, isso deveu-se, principalmente, à evaporação das camadas superiores do lago.

Elevadas concentrações são conseguidas através da diminuição das concentrações de cálcio seguidas de precipitação de minerais carbonatados. As águas do lago parecem estar largamente saturadas no que diz respeito à fluorite, sendo um mineral formado no local e que constitui os sedimentos do lago Magadi. Nas águas que incorporam estes sedimentos, foram registados valores de concentração em fluoreto de 2170 mg/L (Selinus *et al.*, 2005).

4.4. MOBILIDADE NOS SERES VIVOS

Os fluoretos são passíveis de se acumular nos organismos aquáticos marinhos (Hemens and Warwick, 1972 *in*: Tylenda, 2003). A remoção de fluoretos particulados depositados no solo pode ocorrer por lixiviação ou por escoamento superficial, mas a maior remoção é conseguida através das plantas, acumulando-se nestas. A quantidade de fluoretos removidos depende do tipo de plantas, do tipo de solo e da espécie de fluoreto existente no solo. A planta do chá é particularmente conhecida por acumular fluoretos, 97% dos quais são acumulados nas suas folhas (Fung e tal, 1999 *in*: Tylenda, 2003). O fluoreto acumula-se essencialmente nos tecidos esqueléticos dos animais terrestres que consomem a folhagem rica em fluoretos. Contudo, o leite e os tecidos comestíveis de animais alimentados com níveis elevados de flúor não parecem conter concentrações elevadas de flúor (NAS, 1971 *in* Tylenda, 2003).

A ingestão de flúor nos lactentes depende se a criança amamenta ou não. A ingestão de fluoretos numa criança que é exclusivamente amamentada é, geralmente, inferior a 2 µg/kg.dia (Fomon and Ekstrand, 1999 *in*: Tylenda, 2003). Levy *et al* (2001), descobriram que, para a maior parte das crianças a ingestão de fluoretos na água era a fonte predominante de fluoretos, especialmente na idade dos 12 meses, principalmente a crianças que bebiam água fluoretada (Tylenda, 2003).

Entre 75 a 90 % do flúor ingerido é absorvido por via digestiva, passando para a corrente sanguínea sob a forma iónica ou de compostos orgânicos lipossolúveis. Na forma iónica, o flúor circula livremente sendo adsorvido facilmente pelos tecidos duros (ossos e esmalte) e 99% do flúor presente no organismo encontra-se nos tecidos calcificados. Apenas 10 a 25% do consumo diário de flúor não

chegam a ser adsorvidos, sendo excretados pelas fezes. Do flúor adsorvido que não é utilizado (cerca de 50%) é eliminado via renal (Mello, PPGR *in*: PNPSO, 2005).

O flúor tem uma grande afinidade com a apatite presente nos ossos e nos dentes, criando ligações fortes, reversíveis, apresentando grande importância na prevenção da cárie dentária (profilaxia).

Ao ser ingerido, passa pela cavidade oral que absorve menos de 1% mas garante a sua disponibilidade nesse lugar por períodos longos. Por este motivo, os fluoretos possuem aplicação tópica como terapêutica de prevenção das cáries dentárias.

Assim, topicamente, sendo o flúor a fonte preventiva e terapêutica mais predominante, os fluoretos previnem as cáries dentárias através de três mecanismos:

- 1) Inibição do processo de mineralização
- 2) Potenciação do processo de remineralização
- 3) Inibição da acção da placa bacteriana

Estudos epidemiológicos efectuados pela OMS sobre os efeitos do flúor na saúde humana referem que valores compreendidos entre 1,5 e 2,0 mg/L de concentração na água para consumo humano não representam riscos acrescido. Contudo, valores entre 1,5 e 2,0 mg/L, em climas quentes (maior consumo de água) poderão contribuir para a ocorrência de casos de fluorose dentária, e valores entre 3,0 e 6,0 mg/L poderão contribuir para o aparecimento da fluorose óssea ou esquelética.

Quando a água de abastecimento está sujeita à fluoretação, a OMS considera uma concentração ótima aquela que apresentar valores entre 0.5 e 1.5 mg/l, sendo que nos locais mais frios esta deverá aproximar-se dos 1.5 mg/l e nos locais mais quentes deverá aproximar-se dos 0.5 mg/l (PNPSO, 2005).

A ingestão de 0,2 a 3,4 mg/dia é a considerada recomendável. Nos alimentos, a origem de flúor é pouco significativa, sendo que 1/3 apresenta-se na forma ionizável e, portanto, biodisponível (PNPSO, 2005).

CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo visa descrever a metodologia utilizada na amostragem, a selecção de parâmetros físico-químicos e métodos de determinação *in loco* e em laboratório, e descreve os modelos a aplicar no tratamento dos resultados obtidos. Com este estudo pretende-se monitorizar os fluoretos e correlacionar a sua concentração com os restantes parâmetros na água captada pelos SMAS de Ponta Delgada, procurando determinar e ponderar os factores que influenciam o seu aumento.

5.1. PLANO E MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

O plano de amostragem incluiu 33 captações dos 49 grupos de nascente captados pelos SMAS de Ponta Delgada, tendo havido o cuidado de seleccionar as captações cuja probabilidade de ocorrência de fluoretos com concentrações elevadas, era elevada. Julga-se que a amostra é representativa na medida em que cobre toda a área de captação da entidade gestora.

As colheitas foram efectuadas mensalmente, tendo sido efectuadas sete colheitas em cada ponto de amostragem. Atendendo que a área geográfica é extensa, e que o acesso às captações é bastante difícil, foram necessários quatro dias distintos para efectuar as colheitas em cada ciclo de amostragem mensal. Os dados de campo foram registados na ficha apresentada no Anexo I.

Na Tabela 5.1, encontram-se representadas as designações das captações sujeitas ao plano de amostragem e respectivo código de identificação (ID). Cada captação foi colocada num grupo de amostragem, perfazendo quatro grupos. Cada grupo corresponde às colheitas efectuadas num dia de amostragem, sendo que, para completar um ciclo de amostragem mensal, foram necessários quatro dias, conforme supracitado.

Tabela 5.1. Identificação dos Pontos de Amostragem.

ID	Designação da Captação	Freguesia	Aquífero¹	Grupo de Amostragem
1	Moinhos I	Mosteiros	Sete Cidades	A
2	Garcia	Mosteiros	Sete Cidades	A
3	Espigão Alto	Ginetes	Sete Cidades	A
4	Pico do Faial	Ginetes	Sete Cidades	A
5	Nicolau Maria	Ginetes	Sete Cidades	B
6	Pinguinhas	Candelária	Sete Cidades	B
7	Mata do Paraíso	Candelária	Sete Cidades	B
8	Ribeira do Ferreiro - Norte	Candelária	Sete Cidades	B
9	Ribeira do Ferreiro - Sul	Candelária	Sete Cidades	B
10	Chã dos Tanques	Feteiras	Ponta Delgada – Fenais da Luz	B
11	Cerrado da Fonte	Feteiras	Ponta Delgada – Fenais da Luz	B
12	Cerrado da Areia	Feteiras	Ponta Delgada – Fenais da Luz	B
13	Água Nova	Relva	Ponta Delgada – Fenais da Luz	C
14	Pedras Brancas	Sete Cidades	Sete Cidades	A
15	Moinhos SC	Sete Cidades	Sete Cidades	A
16	Canário - Poço	Sto. António	Sete Cidades	C
17	Roçados	Capelas	Sete Cidades	C
18	Chã das Fontes	Capelas	Ponta Delgada – Fenais da Luz	C
19	Rocha de Santo António	Sto. António	Sete Cidades	C
20	Couto	Sto. António	Sete Cidades	C
21	Rabaças	Sto. António	Sete Cidades	C
22	Mata dos Lagos	Bretanha	Sete Cidades	A
23	Furo AC-LC1	Arrifes	Ponta Delgada – Fenais da Luz	C
24	Furo Jk2	São Vicente	Ponta Delgada – Fenais da Luz	C
25	Furo JK3	São Pedro	Ponta Delgada – Fenais da Luz	D
26	Janelas do inferno	Água de Pau	Água de Pau	D
27	Lourinhos II	Água de Pau	Água de Pau	D
28	Grota do Lanço	Água de Pau	Água de Pau	D
29	Galeria de Mina	Água de Pau	Água de Pau	D
30	Ribeira dos Passarinhos	Água de Pau	Água de Pau	D
31	Ribeira da Praia - E	Água D'Alto	Água de Pau	D
32	Ribeira da Praia - Vale	Água D'Alto	Água de Pau	D
33	Ribeira da Praia - W	Água D'Alto	Água de Pau	D

¹ Classificado de acordo com o Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores (2001)

Tentou-se que os períodos de intervalo entre os ciclos de amostragem fossem de um mês, e que os dias de colheita em cada ciclo fossem consecutivos. Contudo, devido a imprevistos de ordem climática, como episódios de chuva intensa, a ocorrência de derrocadas, entre outros motivos, influenciaram alguns desfasamentos ao plano inicial.

Desta forma, apresenta-se na Tabela 5.2, as datas em que foram realizadas as diversas colheitas, por grupo de amostragem.

Tabela 5.2. Calendarização.

<i>Grupo</i>	<i>Data de colheita</i>						
A	23/11/2009	05/01/2010	01/02/2010	04/03/2010	16/04/2010	26/05/2010	01/07/2010
B	25/11/2009	06/01/2010	02/02/2010	05/02/2010	20/04/2010	04/06/2010	05/07/2010
C	26/11/2009	07/01/2010	03/02/2010	11/02/2010	23/04/2010	06/06/2010	02/07/2010
D	27/11/2009	11/01/2010	04/02/2010	09/02/2010 12/02/2010	27/04/2010	27/05/2010	06/07/2010

Para além dos pontos de amostragem acima referidos, efectuaram-se duas colheitas de água na freguesia da Ribeira Quente, concelho da Povoação, referentes às captações de nascente do Redondo e da Lobeira, pertencentes ao aquífero Furnas – Povoação, para efeitos de comparação de dados. A captação do Redondo, em tempos, foi utilizada para consumo humano, tendo sido desactivada por apresentar elevadas concentrações em fluoretos. A nascente da Lobeira é uma água mineral gasocarbónica, e achou-se interessante pesquisar a presença de fluoretos numa água cuja concentração de CO₂ irá ser, naturalmente elevada. Realça-se que a presença de CO₂ na água é um indicativo da influência de vulcanismo secundário.

A freguesia da Ribeira Quente é uma referência em termos de prevalência de fluorose dentária (Baxter, 1999). Note-se que a população do concelho da Povoação apresentou, no estudo levado a cabo pelos médicos dentistas Cabral *et al.* (2005), o índice de fluorose dentária mais elevado dos Açores (IDF=1.1).

As colheitas das amostras de água das nascentes supracitadas foram efectuadas no dia 3 de Julho de 2010.

5.2. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

De forma a obter os resultados apresentados no Capítulo 5.3., foram utilizados alguns equipamentos de campo e outros equipamentos de laboratório, sem os quais não teria sido possível a execução do presente trabalho.

Como equipamentos de campo foram utilizados:

- Medidor Multiparamétrico WTW, com sonda de pH e condutividade
- Medidor WTW 340i com sonda de oxigénio dissolvido
- Titulador volumétrico munido de sonda de pH e agitador magnético (determinação de alcalinidade e dióxido de carbono)
- Termómetro digital
- Cronómetro (para determinação expedita de caudal)

Como equipamentos de laboratório, foram utilizados:

- Filtrador manual graduado
- Cromatógrafo Dionex ICS-1000 (determinação dos aniões)
- Espectrómetro de Absorção Atómica GBC, Sens AA (determinação dos catiões)

Os equipamentos acima designados utilizaram técnicas específicas de determinação de parâmetros, descritas nos subcapítulos que se seguem, nas quais é feita uma descrição do(s) parâmetro(s) que determinam.

5.2.1. DETERMINAÇÃO DE PH

O pH foi determinado no campo através de um medidor portátil que utiliza o método potenciométrico. O aparelho é constituído basicamente por um potenciómetro e por um eléctrodo de hidrogénio.

O pH é uma medida da intensidade do carácter ácido de uma solução, tendo sido introduzido por Sørensen em 1909 (Fiorucci *et al.*, 2001). É dado pela actividade do ião hidrogénio (H^+), sendo medido potenciometricamente e apresentado em uma escala anti-logarítmica. A escala de pH, compreendida entre 0 e 14, indica se o meio é ácido, básico ou neutro, quando o pH for, respectivamente, menor, maior ou igual a 7. O pH é uma propriedade expressa unidimensionalmente (Pinto, 2007).

Matematicamente, o pH de uma solução corresponde ao logaritmo decimal do inverso da concentração efectiva do ião de hidrogénio numa solução, expresso em moles por litro:

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

Sabendo que o pH aumenta cerca de 8% por cada °C, a leitura do pH foi efectuada em simultâneo com a leitura da temperatura (Costa, 2006).

O pH intervém directa ou indirectamente nos vários equilíbrios químicos, influenciando directamente a capacidade de dissolução de gases como CO₂ e a estabilidade das espécies minerais em dissolução (Costa, 2006).

5.2.2. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA

A determinação da condutividade eléctrica (Figura 5.1) foi realizada através do método condutivimétrico, que se baseia na medição da resistência da amostra, e dado em condutância específica (condutividade eléctrica a 20 ou 25 °C). A condutividade eléctrica é uma medida da capacidade de uma solução aquosa para conduzir uma corrente eléctrica, possibilidade garantida pela presença de iões numa solução. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos iões, com a valência dos iões e com as concentrações de cada ião.

Assim sendo, a determinação da condutividade eléctrica torna-se importante na aferição da mineralização total da água, uma vez que são parâmetros directamente proporcionais (Cruz, 1997 *in* Costa, 2006).

A condutividade eléctrica pode ser expressa, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (S.I.), por Siemens por metro (S/m), sendo que, normalmente, se utiliza um dos seus múltiplos, o microSiemens (µS/cm), ou miliSiemens por centímetro (mS/cm), sendo que 1mS/cm = 10 µS/cm (Pinto, 2007).



Figura 5.1. Determinação de pH e condutividade no campo com recurso ao medidor multiparamétrico WTW.

5.2.3. DETERMINAÇÃO DE OXIGÉNIO DISSOLVIDO

O oxigénio dissolvido na água foi determinado a partir de um medidor portátil WTW 340i (Figura 5.2), com o recurso ao método potenciométrico. O método potenciométrico de medição de oxigénio consiste na medição de corrente eléctrica através de um sensor de oxigénio dissolvido (DO) ou oxímetro, medindo a redução electroquímica do oxigénio ($O_2 \rightarrow OH^-$) da amostra. A corrente atravessa a membrana da sonda, pela aplicação de uma voltagem entre o cátodo e o ânodo. A corrente eléctrica é linearmente proporcional à concentração de oxigénio (Pinto, 2007). Quanto mais oxigénio a amostra possuir, maior o sinal de corrente.

É importante perceber que o aumento da temperatura e da salinidade diminui a solubilidade do oxigénio na água e que o aumento da pressão conduz ao aumento da sua solubilidade (Fiorucci & Filho, 2005).



Figura 5.2. Medidor portátil WTW 340i para determinação de oxigénio dissolvido.

5.2.4. DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE E DE CO₂

A alcalinidade é a medida total das substâncias presentes numa água capazes de neutralizarem ácidos e deve-se, principalmente, à presença de iões carbonato, hidrogenocarbonato e/ou hidróxido na água, traduzindo a capacidade da água para aceitar os iões H⁺. Assim sendo, a alcalinidade pode ser traduzida na seguinte reacção:

$$[\text{Alcalinidade}] = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] - [\text{H}^+] \text{ (Navarro, 2005)}$$

A alcalinidade também é influenciada, secundariamente, pela presença de silicatos, boratos, fosfatos e amónia.

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor, incombustível e apresenta odor e sabor suavemente ácidos. Integra a constituição da atmosfera e é um dos componentes gasosos mais abundantes nos magmas e nos fluidos vulcânicos (Costa, 2006).

A sua presença na água subterrânea deve-se principalmente à decomposição da matéria orgânica existente no subsolo, ocorrendo a uma concentração que varia frequentemente entre 1 e 30 mg/L,

podendo ser bem mais significativa em regiões vulcânicas devido à contaminação por fluidos de origem magmática e a manifestações de vulcanismo secundário. Para além de se poder encontrar CO₂ Livre nas águas subterrâneas, este gás também existe combinado nas formas de carbonato e bicarbonato em solução, sendo possível calcular a concentração do CO₂ Total dissolvido na água:

$$\text{CO}_2 \text{ Total (mg/L)} = \text{CO}_2 \text{ Livre (mg/L)} + \text{HCO}_3^- (\text{mg/L}) \times \frac{44}{61} + \text{CO}_3^{2-} (\text{mg/L}) \times \frac{44}{60}$$

Os parâmetros alcalinidade e de CO₂ dissolvido foram determinados através de titulação. O parâmetro alcalinidade foi determinado no próprio dia, logo após a chegada ao laboratório, por titulação com H₂SO₄ (ácido sulfúrico) 0,05 M até atingir pH igual a 4,45. O CO₂ dissolvido na amostra foi também determinado no próprio dia, após chegada ao laboratório, por titulação com NaOH (hidróxido de sódio) a 1/44 M até atingir pH igual a 8,33, valor a partir do qual não existe dióxido de carbono livre (Figura 5.3).

Em ambas as determinações, após ter atingido o pH de equivalência, mediram-se os volumes dos titulantes consumidos. A concentração do CO₂ livre, expressa em mg/L, foi determinada através multiplicação do volume de titulante gasto por 10, enquanto a determinação da alcalinidade (expressa em mg/L de CaCO₃) foi obtida da mesma forma, usando o valor 50 como factor de conversão.

Posteriormente, calculou-se a concentração do ião HCO₃⁻ na amostra (expressa em mg/L de CaCO₃), multiplicando-se o valor da alcalinidade por 1,22.

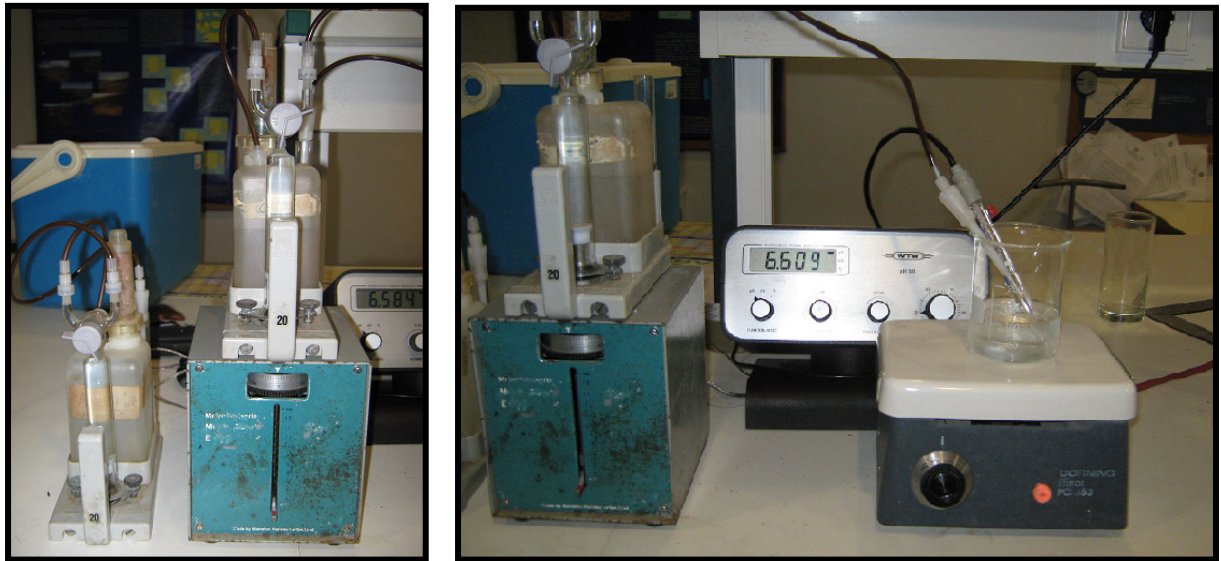


Figura 5.3. Determinação de alcalinidade e CO₂ por titulação volumétrica.

5.2.5. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA E DE CAUDAL

A temperatura é uma propriedade física que reflecte as condições hidrogeológicas e desempenha um papel importante no desenvolvimento de fenómenos como a solubilidade de gases e sais e nas reacções biológicas (Costa, 2006).

A temperatura da água foi registada em todas as colheitas, com o recurso a um termómetro digital, tendo as medições ocorrido directamente no ponto de emergência de água.

O caudal das captações de nascente foi medido de forma expedita, com o recurso a um copo graduado com capacidade para um litro nas captações de baixo caudal, ou com o recurso a um balde graduado com capacidade para 10 litros para as captações de média produção, ou, ainda, com o recurso a um depósito de polietileno graduado com capacidade para 200 litros para as captações de elevada produção. O tempo de enchimento foi cronometrado com a ajuda de um cronómetro (Figura 5.4).



Figura 5.4. Determinação do caudal.

5.2.6. FILTRAÇÃO E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras colhidas foram filtradas, no próprio dia, com o recurso a uma bomba de filtração manual, utilizando um filtro de $0,45\ \mu\text{m}$.

A conservação das amostras do campo até ao laboratório foi efectuada através da aplicação de frio, com o recurso a uma caixa térmica e a placas de gelo. As amostras, desde a colheita até à filtração, foram acondicionadas em frascos de polietileno com a capacidade de um litro.

Após filtradas, as amostras foram colocadas em frascos com a capacidade de 200 mL (para determinação dos catiões) e em frascos de 50 mL (para determinação dos aniões).

Para a conservação da amostra sujeita ao método da absorção atómica (determinação dos catiões), a

conservação foi efectuada com a adição de 2 mL de ácido nítrico ultrapuro de forma a baixar o pH para valores inferiores a dois, limiar, a partir do qual, não ocorrem reacções susceptíveis de alterar a composição química da água até à sua análise.

Para conservação da amostra sujeita ao método da cromatografia iónica (determinação dos aniões), a conservação foi efectuada com a refrigeração recorrendo-se a um frigorífico regular.

5.2.7. DETERMINAÇÃO DOS ANIÕES – CROMATOGRAFIA IÓNICA

A cromatografia engloba um conjunto de técnicas separativas onde se utilizam duas fases, uma estacionária e outra móvel, através das quais se vão distribuindo os vários componentes da solução.

A amostra contendo as substâncias a analisar é colocada na fase móvel, e estas substâncias movem-se com maior ou menor rapidez, dependendo da sua afinidade com as duas fases (Alves, 2006).

A cromatografia iónica é um método eficaz de separação e determinação de iões, baseado no uso de resina de troca iónica. Esta técnica inclui todas as separações de espécies iónicas dentro da cromatografia com detecção em linha. A área de aplicação mais importante da cromatografia iónica é a monitorização dos sistemas aquosos.

O sistema é formado por um líquido eluente, uma bomba de alta pressão, um injector de amostras, uma coluna analítica e um detector de condutividade com supressão química. Os eluentes utilizados podem ser soluções de carbonato e hidrogenocarbonato para separar aniões, ou de ácido tartárico e dipicolínico para catiões (Simões, 2008).

No decorrer do processo, o *software* utilizado gera, automaticamente, um cromatograma de dados formado por picos, onde cada pico representa uma espécie iónica presente na amostra. O tempo de retenção é usado para identificar e analisar cada pico. A altura do pico ou a sua área são proporcionais à concentração do ião e são usados para os quantificar.

Antes de correr a amostra, o sistema é calibrado recorrendo a soluções padrão com concentrações conhecidas. A comparação entre os picos gerados por elas com os da amostra permite a sua identificação e quantificação com rigor (Alves, 2006).

As análises cromatográficas foram realizadas utilizando um cromatógrafo Dionex, modelo ICS-1000, equipado com bomba isocrática (Figura 5.5). A condutividade do eluente foi suprimida através do supressor aniônico Dionex ASRS II (4 mm) no modo de regeneração por autosupressão, aplicando-se uma corrente ao supressor de 72 mA. A aquisição e o tratamento de dados foram obtidos através do software Chromeleon 7.0 (Dionex). De 10 em 10 amostras, passou-se a solução em branco (água ultra-pura) para verificação da calibração. Para cada série de determinações, calibrou-se novamente o equipamento, gerando uma nova recta de calibração. Aceitaram-se como válidas as rectas cujo $R^2 > 95\%$.

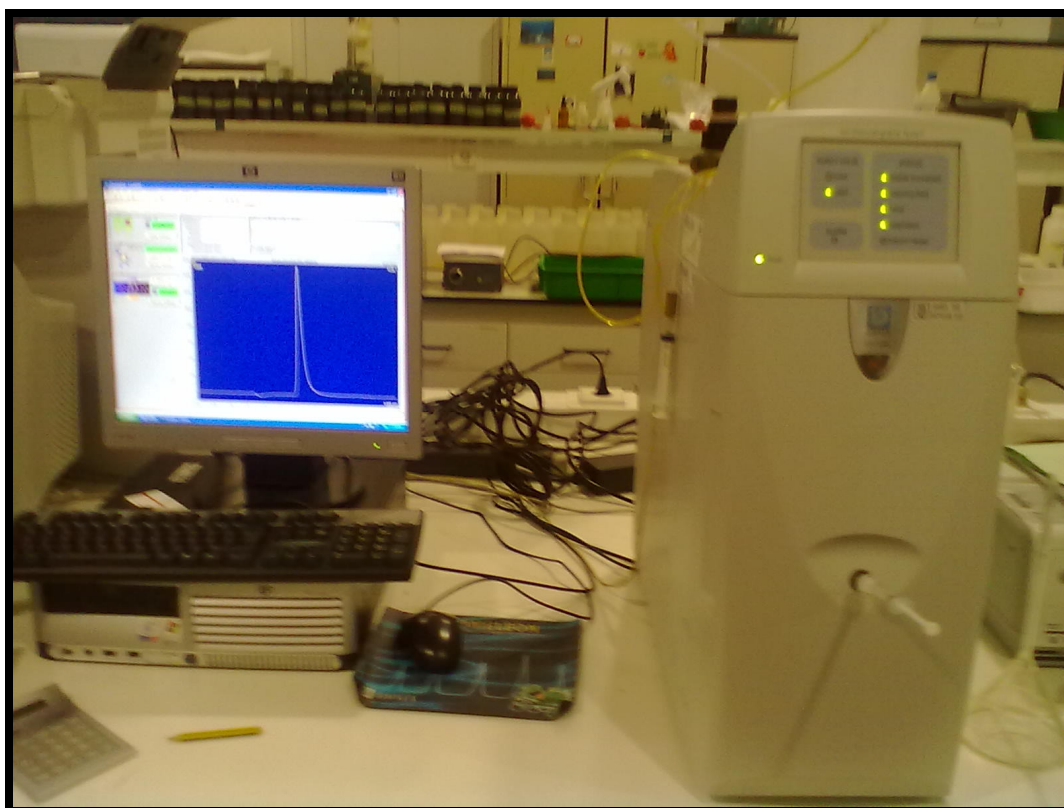


Figura 5.5. Determinação dos aniões através da cromatografia iónica.

5.2.8. DETERMINAÇÃO DOS CATIONES – ABSORÇÃO ATÔMICA

A determinação de cátions foi efectuada num espectrómetro de absorção atômica por chama, utilizando como a lâmpada de cátodo oco correspondente a cada catião a pesquisar. A radiação que passa em cada lâmpada atravessa a amostra e é queimada a uma temperatura bastante elevada. Cada lâmpada emite um comprimento de onda específico cuja absorção é efectuada pelo elemento que queremos determinar. A quantidade de radiação absorvida é convertida na concentração do elemento a analisar.

O espectrómetro utilizado foi o GBC 906AA, conforme representado na Figura 5.6.



Figura 5.6. Determinação dos cátions através da absorção atômica.

5.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos, estes serão apresentados em três tabelas distintas, após submetidos a uma análise de estatística descritiva.

Como variáveis descritivas, optou-se por calcular a média e a mediana, sendo que esta última deverá explicar melhor a dispersão dos dados hidrogeoquímicos, e os valores mínimo e máximo. Atendendo que, em determinadas amostras, não foi possível determinar alguns parâmetros de campo, traduzindo situações pontuais de avaria no equipamento, apresenta-se no registo das tabelas o número de amostras submetidas à análise.

Na primeira tabela (Tabela 5.3) encontram-se representados os resultados estatísticos relativos aos parâmetros físico-químicos obtidos *in situ*. Eles são, a temperatura, o pH, o O₂, a condutividade, o CO₂, e a alcalinidade.

Na segunda tabela (Tabela 5.4) encontram-se representados os resultados estatísticos relativos aos aniões presentes na amostra, tendo sido determinados os designados por elementos maiores. Os elementos maiores, são assim designados por estarem quase sempre presentes na água e por a sua soma representar a quase totalidade dos iões nela dissolvidos.

Sendo assim, os aniões determinados foram o HCO₃⁻ (por cálculo), o cloreto, o nitrato, o sulfato e o fosfato. Para além destes, e porque o presente estudo incide sobre o fluoreto, esse parâmetro foi também determinado e submetido a tratamento estatístico.

Na terceira tabela (Tabela 5.5) encontram-se representados os resultados estatísticos relativos aos catiões considerados como elementos maiores, nomeadamente, o magnésio (Mg²⁺), o sódio (Na⁺), o potássio (K⁺) e o cálcio (Ca²⁺). A esta tabela foi ainda adicionado a sílica (SiO₂), embora esta espécie esteja em solução essencialmente sobre a forma do complexo H₃SiO₄.

O valor mínimo para a temperatura de emergência registada nas sete campanhas de colheita foi de 9,0°C na captação de nascente dos Roçados, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 18,2°C no furo de captação JK3. Para efeitos comparativos, a temperatura de emergência registada *in situ* nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 17,5°C e 18,6°C, respectivamente.

Tabela 5.3. Resultados físico-químicos.

ID	Temperatura (°C)					pH					O ₂ (mg/L)					Condutividade (µS/cm)					CO ₂ (mg/L)					Alcalinidade (mg/L)				
	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Máx.	N	Média	Mediana	Mín.	Máx.	N
1	16,16	16,10	16,00	16,40	7	7,57	7,60	7,33	7,86	7	8,63	8,70	7,90	9,45	5	446,8	451,0	365,0	502,0	6	7,03	5,00	2,80	20,80	7	66,43	65,50	64,00	69,50	7
2	12,24	12,00	11,90	12,90	7	6,73	6,76	6,33	7,04	7	8,35	8,47	7,20	9,27	4	130,6	130,0	124,0	139,0	7	7,17	8,00	4,50	9,20	7	35,71	36,00	31,00	40,00	7
3	15,19	15,20	14,90	15,50	7	6,62	6,67	6,21	7,24	7	8,68	8,99	7,88	9,37	5	284,8	280,0	223,0	356,0	6	13,69	13,80	7,40	21,40	7	50,14	43,00	38,00	69,00	7
4	13,97	14,00	13,00	14,80	7	7,05	6,82	6,36	7,90	7	8,72	8,65	7,96	9,33	5	182,3	177,5	167,0	206,0	6	7,63	8,60	2,80	10,20	7	30,36	31,00	21,00	40,00	7
5	14,76	14,80	14,50	14,90	7	6,91	7,08	6,17	7,33	7	8,71	9,24	7,66	9,50	5	300,1	300,0	277,0	314,0	7	10,49	11,60	2,40	13,40	7	65,14	68,00	27,50	82,00	7
6	15,13	15,20	14,60	15,60	7	6,89	6,74	6,45	7,73	7	8,95	9,40	7,30	9,60	5	282,0	273,0	252,0	335,0	7	14,04	14,80	3,20	19,10	7	59,21	57,50	53,00	70,00	7
7	14,87	14,80	14,60	15,10	7	6,71	6,60	6,49	7,27	7	8,58	8,61	7,88	9,15	5	193,0	191,0	183,0	206,0	7	8,40	8,80	2,80	12,50	7	37,14	37,00	34,00	40,50	7
8	13,91	13,80	13,70	14,30	7	7,09	7,03	6,59	7,96	7	8,79	8,67	7,53	10,21	5	146,1	146,0	143,0	150,0	7	5,16	4,20	2,50	10,41	7	27,21	28,00	20,50	32,00	7
9	14,09	14,10	13,20	14,80	7	6,82	6,89	6,02	7,69	7	8,88	9,51	7,25	10,28	5	150,4	151,0	145,0	155,0	7	6,60	6,90	4,40	7,80	7	27,71	27,50	26,00	29,00	7
10	16,71	16,60	16,30	17,00	7	7,08	7,08	6,46	7,78	7	8,54	9,43	5,48	9,76	5	290,1	296,0	239,0	307,0	7	4,80	5,40	2,50	6,10	7	40,14	40,50	32,00	46,50	7
11	15,46	15,00	14,70	17,00	7	7,17	7,17	6,76	7,60	7	8,10	8,35	6,50	9,50	5	246,1	252,0	201,0	273,0	7	5,80	6,50	3,80	6,90	7	65,36	61,00	58,00	77,00	7
12	14,70	14,70	13,40	16,40	6	6,87	6,80	6,54	7,56	6	8,46	8,75	6,56	9,76	4	286,2	300,0	218,0	307,0	6	13,21	12,45	10,00	16,60	6	83,17	86,50	69,50	88,00	6
13	13,69	13,40	13,00	14,60	7	6,98	7,03	6,56	7,24	7	9,60	9,49	9,07	10,33	4	135,6	132,0	130,0	155,0	7	8,19	7,20	4,40	18,00	7	43,93	36,00	29,50	84,00	7
14	13,69	13,40	13,00	14,60	7	6,98	7,03	6,56	7,24	7	9,60	9,49	9,07	10,33	4	135,6	132,0	130,0	155,0	7	8,19	7,20	4,40	18,00	7	43,93	36,00	29,50	84,00	7
15	14,80	14,90	14,20	15,10	7	7,18	7,22	6,54	8,08	7	8,92	8,99	7,57	9,63	5	186,3	186,0	185,0	188,0	6	5,71	6,10	3,70	6,60	7	46,79	48,00	41,00	49,50	7
16	12,24	12,00	11,90	12,90	7	6,73	6,76	6,33	7,04	7	8,35	8,47	7,20	9,27	4	130,6	130,0	124,0	139,0	7	7,17	8,00	4,50	9,20	7	35,71	36,00	31,00	40,00	7
17	12,07	12,20	9,00	14,10	7	6,49	6,53	6,09	6,70	7	8,17	8,19	7,02	9,27	4	96,0	97,0	87,0	101,0	7	10,83	8,90	5,80	19,60	7	24,21	24,00	19,50	31,00	7
18	15,99	16,10	15,00	16,80	7	6,91	6,65	6,43	7,79	7	7,96	7,72	7,25	9,16	4	194,7	193,0	175,0	233,0	7	5,89	5,40	3,80	9,80	7	25,43	26,00	21,50	27,50	7
19	14,60	14,60	14,00	15,00	7	6,94	6,99	6,51	7,28	7	8,89	9,30	7,65	9,82	5	153,7	153,0	151,0	159,0	7	7,07	6,60	5,10	11,00	7	33,86	35,00	31,50	35,50	7
20	16,30	16,30	15,90	16,80	7	6,82	6,84	6,54	7,08	7	7,95	7,59	6,85	9,76	4	256,6	249,0	241,0	296,0	7	8,93	10,20	5,80	11,20	7	35,93	37,00	29,00	39,00	7
21	15,24	15,10	15,00	15,60	7	6,80	6,78	6,53	6,95	7	8,51	8,61	7,41	9,40	4	195,4	194,0	189,0	205,0	7	10,33	8,20	6,40	17,20	7	35,50	35,00	30,50	39,00	7
22	15,99	15,90	15,60	17,00	7	6,98	6,87	6,27	7,80	7	8,13	8,04	7,29	8,85	5	309,5	304,0	291,0	330,0	6	14,33	16,20	2,10	23,10	7	44,00	48,00	13,00	55,00	7
23	15,86	16,10	14,50	16,40	7	7,57	7,43	6,91	8,34	7	2,47	1,56	1,09	5,66	4	234,4	237,0	215,0	241,0	7	5,03	5,20	2,60	7,40	7	62,00	64,00	51,00	72,50	7
24	17,26	17,20	16,90	17,80	7	6,48	6,46	6,20	6,78	7	8,03	7,55	6,31	9,74	5	336,9	340,0	313,0	348,0	7	32,00	26,10	17,20	51,80	7	64,50	65,00	60,00	68,00	7
25	17,69	17,60	17,50	18,20	7	6,97	6,97	6,79	7,07	7	7,59	7,76	6,51	8,32	4	1715,4	1761,0	1580,0	1860,0	7	20,99	21,40	14,40	27,10	7	469,25	133,00	125,50	144,00	7
26	14,19	14,30	13,60	14,50	7	6,75	6,72	6,28	7,05	7	8,60	8,86	6,78	9,92	4	145,4	145,0	129,0	164,0	7	9,94	7,90	7,40	13,80	7	32,21	32,50	29,00	35,50	7
27	12,99	13,10	12,70	13,20	7	6,88	6,91	6,48	7,39	7	9,26	9,38	8,15	10,14	4	105,4	103,0	102,0	111,0	7	11,31	6,00	4,20	45,00	7	20,43	20,00	17,00	26,00	7
28	14,80	14,80	14,50	15,10	7	6,62	6,64	6,29	6,89	7	8,80	9,20	7,35	9,44	4	160,7	159,0	154,0	168,0	7	11,26	11,00	7,80	14,20	7	29,36	29,00	26,50	32,00	7
29	12,46	12,60	11,70	12,80	7	6,97	6,94	6,50	7,46	7	9,04	9,37	7,51	9,91	4	95,9	95,0	92,0	100,0	7	7,30	6,40	2,60	13,70	7	20,71	20,50	19,00	23,00	7
30	13,89	13,90	13,50	14,10	7	6,76	6,82	6,12	7,32	7	8,28	8,26	7,04	9,54	4	157,7	156,0	154,0	162,0	7	18,44	16,60	13,20	26,60	7	42,79	42,50	39,50	46,00	7
31	13,94	13,90	12,30	14,70	7	7,29	7,34	6,54	7,90	7	2,64	2,57	1,97	3,39	3	114,3	117,0	107,0	122,0	7	8,51	7,60	5,90	11,60	7	28,36	28,50	22,50	33,00	7
32	12,91	12,90	12,70	13,10	7	6,83	6,88	6,40	7,13	7	8,09	8,02	7,85	8,47	4	118,9	118,0	115,0	123,0	7	10,66	9,40	6,40	15,00	7	32,29	32,00	29,00	36,50	7
33	13,87	13,90	13,50	14,30	7	7,39	7,29	6,65	8,86	7	8,31	8,60	6,84	9,20	4	132,7	133,0	124,0	139,0	7	12,13	10,00	6,00	24,20	7	32,93	33,00	28,00	36,50	7

Tabela 5.4. Resultados de concentração para os Aniões.

ID	HCO_3^- (mg/L)					F^- (mg/L)					Cl^- (mg/L)					NO_3^- (mg/L)					SO_4^{2-} (mg/L)					PO_4^{3-} (mg/L)				
	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N
1	81,04	79,91	78,08	84,79	7	0,60	0,60	0,50	0,70	7	69,80	73,16	48,34	79,15	7	47,33	47,02	35,45	61,48	6	14,76	15,23	12,92	16,49	7	1,21	1,20	0,97	1,45	3
2	43,57	43,92	37,82	48,80	7	0,39	0,40	0,33	0,40	7	49,37	51,39	35,36	53,46	7	6,30	6,64	2,29	9,50	6	9,11	9,34	6,02	10,64	7	0,78	0,78	0,78	0,78	1
3	61,17	52,46	46,36	84,18	7	1,01	1,00	0,90	1,10	7	47,64	49,37	31,36	61,96	7	6,37	6,43	1,47	9,46	5	10,07	10,49	6,51	11,94	7	1,12	1,15	1,03	1,19	3
4	37,04	37,82	25,62	48,80	7	0,44	0,40	0,30	0,79	7	32,91	32,85	30,91	35,78	7	3,16	3,44	1,04	5,06	6	6,39	6,15	5,45	7,16	7	1,05	1,05	1,05	1,05	1
5	79,47	82,96	33,55	100,04	7	0,34	0,30	0,29	0,60	7	32,37	32,70	30,20	34,40	7	8,85	9,82	5,28	11,83	6	8,20	8,26	7,29	9,07	7	0,85	0,85	0,85	0,85	1
6	72,24	70,15	64,66	85,40	7	0,44	0,41	0,40	0,50	7	38,54	39,89	31,86	43,94	7	10,29	10,50	6,23	13,73	6	7,12	7,54	4,83	8,33	7	1,12	1,07	0,86	1,44	3
7	45,31	45,14	41,48	49,41	7	0,44	0,40	0,39	0,70	7	25,49	25,93	23,97	26,87	7	11,14	12,22	5,20	13,60	6	6,32	6,60	5,49	6,96	7	nd	nd	nd	nd	0
8	33,20	34,16	25,01	39,04	7	0,36	0,31	0,30	0,60	7	23,34	23,93	20,76	24,73	7	1,35	1,42	0,73	2,32	5	4,80	4,71	3,23	5,82	7	1,23	1,23	0,96	1,49	2
9	33,81	33,55	31,20	35,38	7	0,35	0,30	0,27	0,50	7	23,95	23,69	22,94	25,40	7	1,72	1,59	0,79	3,18	6	4,63	4,63	3,30	5,80	7	1,12	1,23	0,79	1,33	3
10	48,97	49,41	39,04	56,73	7	0,48	0,50	0,40	0,60	7	26,63	25,73	22,98	34,45	7	63,85	64,35	58,27	67,28	5	12,93	13,53	2,84	16,97	7	nd	nd	nd	nd	0
11	79,74	74,42	70,76	93,94	7	0,29	0,28	0,20	0,50	7	16,57	16,11	15,13	20,10	7	31,42	31,34	26,33	36,64	6	5,37	5,37	4,72	6,12	7	1,77	1,77	1,77	1,77	1
12	101,46	105,53	84,79	107,36	6	0,44	0,48	0,30	0,50	6	16,36	16,91	11,25	18,90	6	22,40	25,36	9,18	27,50	6	9,99	9,99	9,30	10,73	6	1,10	1,10	1,10	1,10	1
13	53,59	43,92	35,99	102,48	7	0,24	0,24	0,20	0,30	7	14,03	14,00	12,67	15,77	7	4,42	3,94	2,16	8,95	6	4,74	5,02	3,80	5,58	7	1,22	1,22	nd	1,64	2
14	53,59	43,92	35,99	102,48	7	0,64	0,60	0,60	0,70	7	27,83	27,59	26,66	30,17	7	2,72	3,05	1,17	4,18	6	6,34	6,23	5,27	7,60	7	0,94	0,94	0,80	1,07	2
15	57,08	58,56	50,02	60,39	7	1,71	1,70	1,50	2,00	7	20,60	20,60	19,05	21,76	7	3,09	2,80	2,15	4,05	5	5,17	5,05	4,57	5,77	7	1,37	1,13	0,93	2,06	3
16	43,57	43,92	37,82	48,80	7	0,20	0,20	0,19	0,20	7	15,81	16,33	13,61	17,34	7	2,01	1,60	1,14	4,21	7	3,54	3,69	2,84	4,22	7	0,82	0,82	0,82	0,82	1
17	29,54	29,28	23,79	37,82	7	0,20	0,20	0,17	0,20	7	11,84	11,50	11,32	12,94	7	3,10	2,26	2,18	6,49	6	3,07	3,17	2,32	3,62	7	1,02	1,02	0,99	1,05	2
18	31,02	31,72	26,23	33,55	7	0,41	0,40	0,37	0,50	7	23,58	24,34	19,70	27,58	7	26,81	25,70	21,15	32,42	5	7,34	7,41	5,69	8,39	7	nd	nd	nd	nd	0
19	41,31	42,70	38,43	43,31	7	0,43	0,40	0,40	0,50	7	17,77	17,74	16,50	18,72	7	9,67	9,69	7,07	12,32	6	4,93	4,73	4,02	5,79	7	1,33	1,33	1,04	1,61	2
20	43,83	45,14	35,38	47,58	7	0,86	0,80	0,79	1,00	7	20,33	22,72	3,06	26,36	7	43,90	55,10	4,17	58,26	5	5,28	5,90	1,13	7,40	7	1,23	1,23	0,85	1,61	2
21	43,31	42,70	37,21	47,58	7	0,41	0,40	0,34	0,50	7	21,31	20,66	20,15	22,63	7	22,83	22,80	20,16	26,44	6	6,31	6,17	4,82	7,50	7	1,03	1,03	0,88	1,18	2
22	53,68	58,56	15,86	67,10	7	0,84	0,90	0,70	1,00	7	28,37	28,17	27,40	29,28	7	51,88	44,75	39,91	72,19	6	9,79	9,58	7,98	11,71	7	nd	nd	nd	nd	0
23	75,64	78,08	62,22	88,45	7	0,52	0,50	0,42	0,60	7	23,91	23,62	22,23	26,08	7	11,09	12,69	5,68	15,29	7	7,50	7,72	6,40	8,05	7	nd	nd	nd	nd	0
24	78,69	79,30	73,20	82,96	7	0,41	0,40	0,37	0,50	7	25,98	25,62	25,06	27,64	4	51,91	72,87	5,79	78,01	7	11,28	11,26	10,48	12,40	7	nd	nd	nd	nd	0
25	163,57	162,26	153,11	175,68	7	0,51	0,50	0,40	0,60	7	556,38	551,04	502,76	639,44	7	14,95	17,52	2,02	20,38	7	72,23	71,60	64,20	80,82	7	nd	nd	nd	nd	0
26	39,30	39,65	35,38	43,31	7	0,24	0,20	0,20	0,40	7	17,60	17,54	16,10	18,77	7	8,02	9,01	2,67	12,48	6	5,03	4,86	3,80	6,87	7	nd	nd	nd	nd	0
27	24,92	24,40	20,74	31,72	7	0,29	0,30	0,21	0,30	7	18,17	16,62	16,09	25,21	7	1,54	1,07	0,78	2,55	5	3,86	3,91	3,12	5,35	7	1,85	1,85	1,85	1,85	1
28	35,82	35,38	32,33	39,04	7	0,28	0,30	0,20	0,30	7	26,07	26,12	23,27	30,92	7	5,95	4,17	4,04	9,23	5	5,40	4,93	3,36	10,00	7	1,31	1,03	0,92	1,99	3
29	25,27	25,01	23,18	28,06	7	0,39	0,40	0,36	0,40	7	17,36	13,52	12,68	39,70	7	0,96	0,88	0,68	1,53	6	4,12	3,73	3,33	6,85	7	nd	nd	nd	nd	0
30	52,20	51,85	48,19	56,12	7	0,31	0,30	0,30	0,40	7	18,60	18,48	18,09	20,28	7	1,20	1,13	0,73	1,74	3	2,62	2,60	1,91	3,64	7	1,21	1,21	1,21	1,21	1
31	34,60	34,77	27,45	40,26	7	1,17	1,20	1,00	1,31	7	11,82	11,74	11,06	12,51	7	1,33	1,33	1,14	1,51	2	3,38	3,26	2,81	4,16	7	1,24	1,24	1,24	1,24	1
32	39,39	39,04	35,38	44,53	7	0,69	0,70	0,63	0,70	7	13,37	13,69	11,93	13,81	7	1,03	0,92	0,73	1,56	5	3,86	3,96	2,55	5,00	7	0,91	0,86	0,79	1,09	3
33	40,17	40,26	34,16	44,53	7	0,72	0,70	0,67	0,80	7	15,93	15,68	15,23	16,68	7	0,80	0,69	0,64	1,07	3	4,41	3,99	3,62	5,98	7	0,97	0,97	0,97	0,97	1

nd – Parâmetros não determinados

Tabela 5.5. Resultados de concentração para os Cátions.

ID	Mg (mg/L)					Na ⁺ (mg/L)					K ⁺ (mg/L)					Ca ²⁺ (mg/L)					SiO ₂ (mg/L)				
	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N	Média	Mediana	Mín.	Max.	N
1	8,20	8,06	7,15	9,30	7	74,66	71,76	70,37	81,43	7	12,05	12,27	10,66	13,79	7	21,06	19,85	16,21	31,25	7	36,29	35,30	32,48	41,35	7
2	0,92	0,92	0,80	1,11	7	58,36	58,54	55,94	60,19	7	8,83	8,64	8,02	10,41	7	5,25	5,15	4,91	5,93	7	62,23	61,79	51,51	70,96	7
3	0,78	0,76	0,67	0,97	7	55,97	52,80	51,08	67,22	7	5,71	5,84	4,14	7,19	7	5,34	5,12	4,80	6,33	7	54,79	55,07	51,69	58,73	7
4	1,00	0,83	0,72	1,56	7	44,87	45,05	40,56	50,11	7	6,87	6,56	6,15	8,74	7	3,29	3,00	2,60	4,29	7	49,53	49,50	47,28	52,33	7
5	2,41	2,31	2,18	2,76	7	48,04	48,16	39,65	56,75	7	12,23	12,88	10,47	14,09	7	8,73	8,43	7,66	11,67	7	57,80	58,73	55,61	60,11	7
6	2,29	1,83	1,52	3,76	7	47,78	47,30	42,99	53,42	7	8,41	8,09	7,22	10,33	7	7,57	7,30	6,52	8,87	7	50,77	50,45	45,59	55,29	7
7	0,95	0,87	0,82	1,25	7	33,10	32,87	32,03	34,65	7	7,89	8,08	6,88	8,35	7	6,87	6,68	6,51	8,05	7	41,37	42,28	39,26	43,19	7
8	0,24	0,23	0,16	0,36	7	20,61	19,76	16,94	29,39	7	4,40	4,06	3,79	5,84	7	5,44	5,14	4,38	6,62	7	37,43	36,77	34,02	42,30	7
9	0,11	0,09	0,05	0,19	7	27,47	28,79	20,91	34,65	7	4,25	4,09	3,82	4,83	7	6,14	6,48	4,77	7,27	7	34,36	35,93	29,39	39,12	7
10	1,97	1,87	1,64	2,67	7	49,81	49,21	48,85	53,14	7	10,29	10,03	9,80	11,36	7	11,28	10,78	9,04	15,91	7	49,80	49,27	46,77	53,61	7
11	3,51	3,16	2,73	4,62	7	26,36	25,81	24,65	30,72	7	7,47	7,36	6,14	9,18	7	14,05	13,56	11,03	19,29	7	26,35	27,21	21,03	31,16	7
12	5,07	4,90	4,52	5,81	6	27,98	27,86	25,55	31,47	6	10,27	10,10	8,77	12,01	6	15,89	15,63	14,11	18,23	6	38,08	38,07	36,47	40,23	6
13	1,71	1,65	1,51	2,30	7	17,57	17,05	15,91	19,27	7	3,59	3,61	3,34	3,75	7	7,37	7,28	7,03	8,40	7	19,26	18,24	16,54	23,07	7
14	0,18	0,21	0,04	0,29	7	36,22	39,90	23,03	43,85	7	3,86	3,84	3,58	4,17	7	6,86	6,98	6,34	7,13	7	45,61	45,56	44,18	47,13	7
15	0,39	0,38	0,35	0,46	7	40,68	40,61	39,02	43,36	7	0,25	0,19	0,07	0,54	7	5,03	5,07	4,78	5,26	7	25,95	25,57	21,85	28,41	7
16	0,94	0,92	0,80	1,15	7	32,56	33,27	28,60	35,25	7	6,62	6,45	5,56	8,80	7	4,45	4,33	4,02	4,89	7	39,00	39,10	37,26	42,45	7
17	0,78	0,81	0,62	0,86	7	16,03	15,90	13,49	18,78	7	3,43	3,46	2,29	4,50	7	3,39	3,38	2,58	4,12	7	20,06	20,08	16,71	23,84	7
18	0,78	0,81	0,54	0,93	7	25,94	24,90	23,47	31,48	7	7,08	6,81	6,50	8,21	7	5,46	5,19	4,56	6,76	7	39,67	40,14	36,88	43,30	7
19	0,92	0,87	0,73	1,44	7	35,10	35,19	31,94	37,20	7	6,63	6,76	6,00	7,20	7	4,89	4,91	4,69	4,98	7	38,71	38,21	37,40	41,16	7
20	0,86	0,86	0,67	0,97	7	31,07	31,18	28,92	32,25	7	10,44	10,32	9,72	11,25	7	6,01	6,12	5,46	6,54	7	52,54	52,49	49,51	56,63	7
21	1,42	1,34	1,31	1,64	7	41,15	40,50	39,72	42,95	7	9,62	9,57	9,18	10,13	7	6,52	6,47	6,19	6,91	7	48,13	48,87	42,22	50,15	7
22	1,25	1,03	0,78	2,08	7	59,09	60,37	52,92	62,70	7	13,64	14,20	9,65	16,16	7	7,65	7,31	6,50	9,68	7	63,48	63,07	59,16	67,95	7
23	3,84	3,52	3,17	6,33	7	53,12	50,84	49,12	67,49	7	14,85	15,01	13,53	16,71	7	8,29	8,23	7,98	8,73	7	25,16	22,82	13,28	38,57	7
24	5,22	5,15	4,95	5,72	7	57,62	57,71	53,20	60,91	7	21,26	21,36	18,70	22,63	7	13,40	13,05	11,11	17,33	7	41,56	41,65	39,68	43,97	7
25	125,66	116,36	114,45	149,19	7	317,50	255,13	208,35	431,20	7	36,86	37,13	29,99	41,42	7	21,06	20,66	18,26	24,29	7	36,66	36,02	35,26	39,15	7
26	0,33	0,24	0,01	1,14	7	28,45	28,75	24,74	31,73	7	4,31	4,71	3,27	5,06	7	3,73	3,92	3,22	4,12	7	39,82	40,87	34,62	42,22	7
27	0,38	0,27	0,18	1,16	7	22,14	20,11	18,97	33,94	7	4,83	4,53	4,47	5,76	7	2,13	2,07	1,93	2,72	7	28,92	29,23	25,32	32,42	7
28	0,54	0,58	0,35	0,68	7	30,75	30,90	28,01	35,11	7	8,36	8,55	7,56	8,79	7	3,65	3,65	3,18	4,23	7	45,15	45,42	41,42	47,84	7
29	0,69	0,67	0,61	0,81	7	20,72	20,51	17,69	23,62	7	2,98	2,87	2,20	3,97	7	1,73	1,71	1,67	1,87	7	29,23	30,46	24,89	31,55	7
30	0,33	0,34	0,18	0,44	7	30,70	30,73	29,86	31,52	7	9,17	9,12	8,76	9,49	7	2,93	2,77	2,51	4,38	7	48,96	48,74	46,35	51,00	7
31	0,27	0,30	0,20	0,35	7	29,96	30,66	25,12	33,16	7	0,40	0,36	0,11	0,67	7	0,99	1,00	0,84	1,13	7	34,66	35,05	31,13	38,13	7
32	0,42	0,41	0,38	0,46	7	28,38	28,09	26,44	31,41	7	8,05	8,25	6,86	8,69	7	1,72	1,69	1,60	1,86	7	42,77	43,75	39,14	45,63	7
33	0,13	0,10	0,10	0,23	7	30,27	33,16	21,85	39,47	7	4,35	4,09	4,05	5,52	7	1,25	1,08	0,95	2,40	7	50,52	49,90	47,27	54,00	7

No que diz respeito ao pH, o valor mínimo registado foi de 6,02 na captação de nascente da Ribeira do Ferreiro – Sul, sendo que o valor máximo de 8,86 foi registado na captação de nascente da Ribeira da Praia – Oeste. Os valores de pH registados nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 7,08 e de 5,90, respectivamente.

Em relação ao oxigénio dissolvido, o valor mais baixo foi obtido no furo AC-LC1, com 1,09 mg/L, um valor bastante pequeno mas pouco variável ao longo das medições, uma vez que a média registada foi de 2,47mg/L e a mediana igual a 1,59 mg/L. O valor máximo foi registado nas captções de nascente de Água Nova e Pedras Brancas que apresentaram uma concentração de 10,33 mg/L. Os valores de oxigénio dissolvido registados nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 9,72 mg/L e de 1,45 mg/L, respectivamente.

O valor mínimo registado de condutividade eléctrica foi de 87 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na captação de nascente dos Roçados, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 1 860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no furo de captação JK3. Os valores de condutividade eléctrica registados *in situ* nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 303 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1 097 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

Relativamente à concentração de CO_2 dissolvido na água, o valor mínimo foi registado na captação de nascente da Mata dos Lagos, com um valor de 2,10 mg/L, enquanto que o valor máximo de 51,80 mg/L foi registado no furo de captação JK2. Os valores de CO_2 dissolvido registados nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 14,60 mg/L e de 796,10 mg/L, respectivamente.

No que diz respeito à alcalinidade, o valor mínimo registado foi de 13,00 mg/L na captação de nascente da Mata dos Lagos, sendo que o valor máximo de 144,00 mg/L foi registado no furo de captação JK3. Os valores de alcalinidade registados nas captções de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 62,00 mg/L e de 468,00 mg/L, respectivamente.

Em relação à concentração em HCO_3^- , o valor mínimo de 15,86 mg/L foi encontrado na nascente Mata dos Lagos, enquanto que o valor máximo registado foi de 175,68 mg/L no furo de captação JK3. Os valores de HCO_3^- registados nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram de 570,96 mg/L e de 75,64 mg/L, respectivamente.

O valor mínimo registado de concentração em fluoreto foi de 0,17 mg/L na captação de nascente dos Roçados, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 2,00 mg/L na captação de nascente dos Moinhos das Sete Cidades. Os valores de concentração em fluoreto registados para nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram 1,83 mg/L e 5,09 mg/L, respectivamente.

Em relação ao cloreto, o valor mínimo de 3,06 mg/L foi registado na nascente de captação do Couto enquanto que o valor máximo de 639,44 mg/L foi registado no furo de captação JK3. Na captação de nascente do Redondo a concentração em cloreto foi de 57,44 mg/L enquanto que na captação de nascente da Lobeira a concentração em cloreto foi de 65,22 mg/L.

No que diz respeito à concentração em nitrato, o valor mínimo de 3,06 mg/L foi registado na nascente de captação da Ribeira da Praia – Oeste enquanto que o valor máximo de 78,01 mg/L foi registado no furo de captação JK2. Não foi possível determinar a concentração em nitrato nas captações de nascente de Redondo e Lobeira.

O valor mínimo registado de concentração em sulfato foi de 1,13 mg/L na captação de nascente do Couto, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 80,82 mg/L no furo de captação do JK3. Os valores de concentração em sulfato registados para nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram 9,82 mg/L e 16,62 mg/L, respectivamente.

Relativamente à concentração em fosfato, o valor mínimo registado foi de 0,78 mg/L na captação de nascente do Garcia, sendo que o valor máximo de 2,06 foi registado na captação de nascente dos Moinhos das Sete Cidades. A concentração em fosfato registado na captação de nascente do Redondo foi de 2,26 mg/L. Não foi possível determinar a concentração em fosfato na captação de nascente da Lobeira.

A concentração mínima de 0,01 mg/L em magnésio foi encontrada na captação de nascente das Janelas do Inferno e a concentração máxima de 149,19 mg/L foi encontrada no furo de captação JK3. Em relação às captações de nascente do Redondo e da Lobeira, registaram-se os valores de 0,72 mg/L e de 0,48 mg/L, respectivamente.

Em relação ao sódio, o valor mínimo de 13,49 mg/L foi registado na nascente de captação dos Roçados enquanto que o valor máximo de 431,20 mg/L foi registado no furo de captação JK3. Nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira, registaram-se os valores de 55,61 mg/L e de 187,61 mg/L, respectivamente.

O valor mínimo registado de concentração em potássio foi de 0,07 mg/L na captação de nascente dos Moinhos das Sete Cidades, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 41,42 mg/L no furo de captação do JK3. Os valores de concentração em potássio registados para nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram 6,59 mg/L e 34,77 mg/L, respectivamente.

No que diz respeito à concentração em cálcio, o valor mínimo de 0,84 mg/L foi registado na nascente de captação da Ribeira da Praia – Este enquanto que o valor máximo de 31,25 mg/L foi registado na captação de nascente dos Moinhos I. Os valores de concentração em cálcio registados para nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram 5,15 mg/L e 43,27 mg/L, respectivamente.

Por último, o valor mínimo registado de concentração em sílica foi de 13,28 mg/L no furo de captação AC-LC1, enquanto que o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 70,96 mg/L na captação de nascente do Garcia. Os valores de concentração em sílica registados para nas captações de nascente do Redondo e da Lobeira foram 50,07 mg/L e 74,63 mg/L, respectivamente.

CAPÍTULO 6 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todos os dados obtidos foram submetidos a um tratamento estatístico descritivo e a uma caracterização e modelação hidrogeoquímica que permitiu a especiação das águas estudadas e o cálculo de índices de saturação para diversos minerais. Para o efeito, utilizou-se um programa informático de tratamento hidrogeoquímico gráfico, o AQUACHEM v.3.7 (Waterloo hydrogeologic, 1998-1999) e três programas de especiação e de cálculo do estado de equilíbrio água-rocha, o PHREEQC v.2.0 (Parkhurst & Appelo, 1999), o NETPATH (Plummer *et al*, 1994) e WATEQ4F (Ball & Nordstrom, 1991).

A obtenção de dados modelados, a elaboração de diversos gráficos e diagramas, entre outros, possibilitaram a interpretação e caracterização das análises físico-químicas que, associadas a aspectos geológicos e hidrogeológicos, permitiram a elaboração de modelos conceptuais de funcionamento dos aquíferos.

6.1. HIDROGEOQUÍMICA

6.1.1 DETERMINAÇÃO DAS FÁCIES HIDROQUÍMICAS

Optou-se por utilizar o Diagrama de Piper para a caracterização hidroquímica de cada origem de água estudada uma vez que o gráfico permite que se obtenha uma série de outras informações além da referida classificação hidroquímica. Neste diagrama, os catiões (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+}) e os aniões (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-) são apresentados em percentagem de miliequivalentes, em duas bases triangulares. Os dados contidos nesses triângulos são projectados num losango, possibilitando a classificação das águas em função da concentração de iões.

Através do gráfico semi-logarítmico de Schöeller correlacionaram-se várias análises de água de diferentes pontos bem como foram comparadas amostras de águas superficiais e subterrâneas de uma mesma porção desta bacia hidrográfica. Este gráfico ressalta as relações entre iões de uma mesma amostra e variações temporais e espaciais existentes. Este gráfico foi desenvolvido para representar a

concentração dos elementos maiores em meq/L, com a apresentação ordenada, da esquerda para a direita, dos íons Mg^{2+} , Ca^{2+} , $Na^{+} + K^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{2-} e HCO_3^{-} .

As águas captadas no concelho são, maioritariamente, bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas (Tabela 6.1). Nas Figuras 6.1 e 6.2, encontram-se representados os diagramas de Piper e de Schoeller para as águas monitorizadas.

No ANEXO III encontram-se representados os diagramas de Piper e de Schoeller para cada captação.

Tabela 6.1. Fácies hidroquímicas das águas monitorizadas e respectiva percentagem de ocorrência.

FÁCIE HIDROQUÍMICA	% OCORRÊNCIA
Bicarbonatada Sódica	46,98%
Cloretada Sódica	25,86%
Bicarbonatada Cloretada Sódica	12,93%
Cloretada Bicarbonatada Sódica	10,34%
Bicarbonatada Sódica Cálcica	2,16%
Cloretada Magnesiana Sódica	0,86%
Cloretada Magnesiana	0,43%
Cloretada Sódica Magnesiana	0,43%

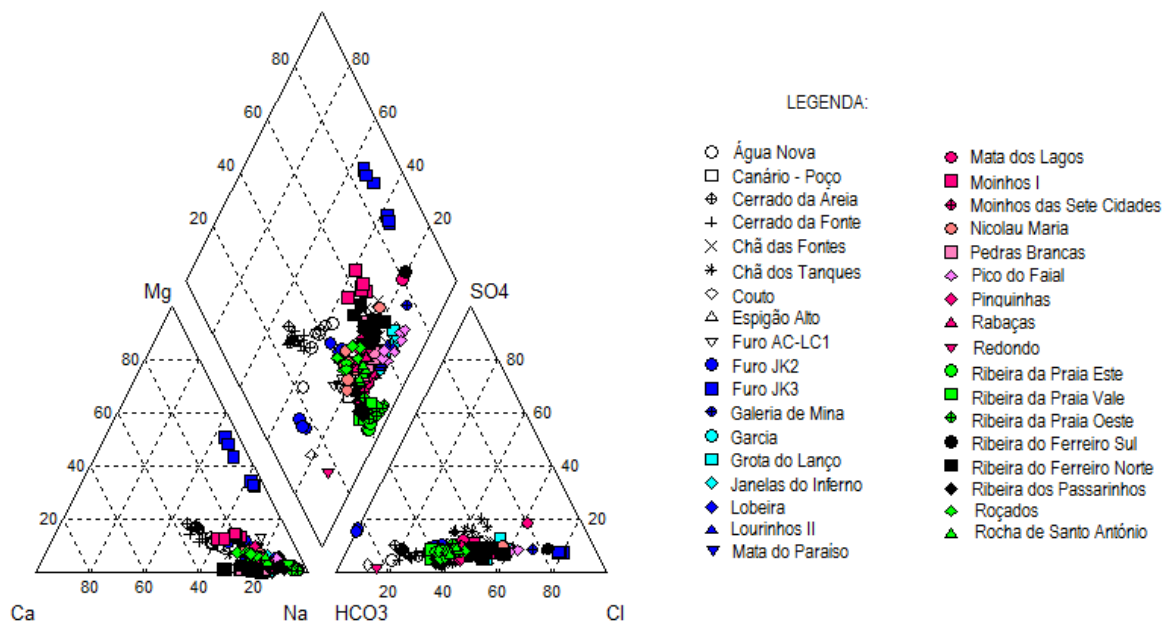


Figura 6.1. Diagrama de Piper para as águas monitorizadas (inclui Redondo e Lobeira).

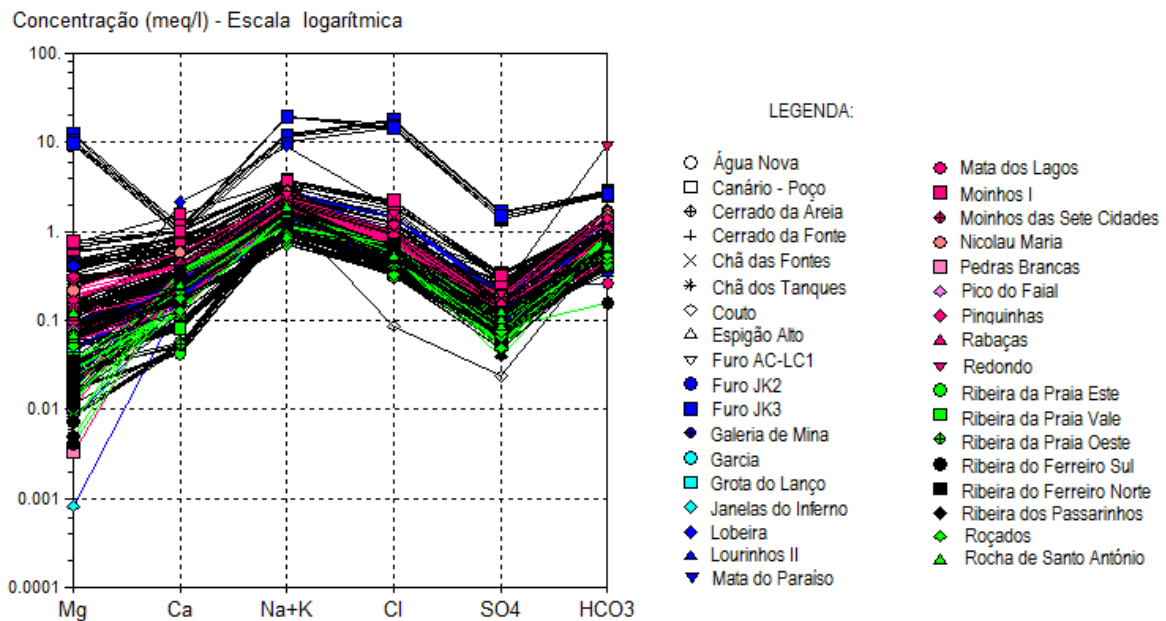


Figura 6.2. Diagrama de Schoeller para as águas monitorizadas (inclui Redondo e Lobeira).

Pela observação dos diagramas acima representados, destaca-se ainda o furo JK3 como cuja fácies cloretada e sódica, é consistente com o fenómeno de intrusão salina.

6.1.2 ÍNDICES DE SATURAÇÃO

A avaliação do estado de equilíbrio de uma água em relação a um determinado contexto mineralógico torna-se essencial para compreender a composição química da mesma, pelo que tornou-se necessário determinar os índices de saturação das águas monitorizadas em relação às diferentes espécies minerais nelas presentes.

Os índices de saturação, IS, dos diferentes minerais foram calculados a partir dos resultados das análises de água usando o programa PHREEQC (Parkhurst e Appelo, 2005) e definem-se como:

$$IS = \log (IAP / K)$$

Onde IAP é o produto de actividade iónica e K é o produto de solubilidade.

Assim, considera-se que uma água está sub-saturada relativamente a uma espécie mineral se o índice de saturação (SI) é negativo e o mineral em questão terá a tendência para dissolver-se. Pelo contrário, se uma água está sobre-saturada relativamente a uma espécie mineral, o índice de saturação será positivo e a tendência é para a precipitação deste mineral.

Todos os dados relativos ao cálculo dos índices de saturação, e respectiva especiação química, foram confirmados com o recurso aos softwares NETPATH (Plummer *et al*, 1994) e WATEQ4F (Ball and Nordstrom, 1991).

Os três softwares acima referidos correspondem a programas de aplicação de modelos geoquímicos de especiação e de determinação de índices de saturação, sendo que a elaboração dos gráficos e diagramas representativos foi realizada com o recurso ao software AQUACHEM 3.7. (Waterloo hydrogeologic, 1998-1999).

Os principais resultados encontram-se representados nas Figuras 6.3 a 6.10.

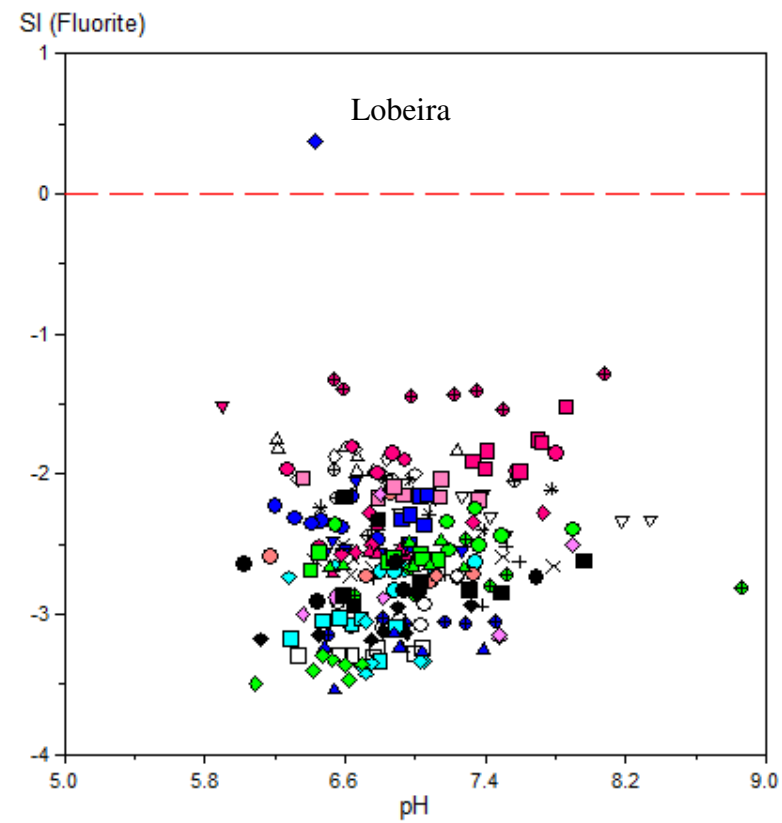


Figura 6.3. Variação do índice de saturação da Fluorite em função do pH.

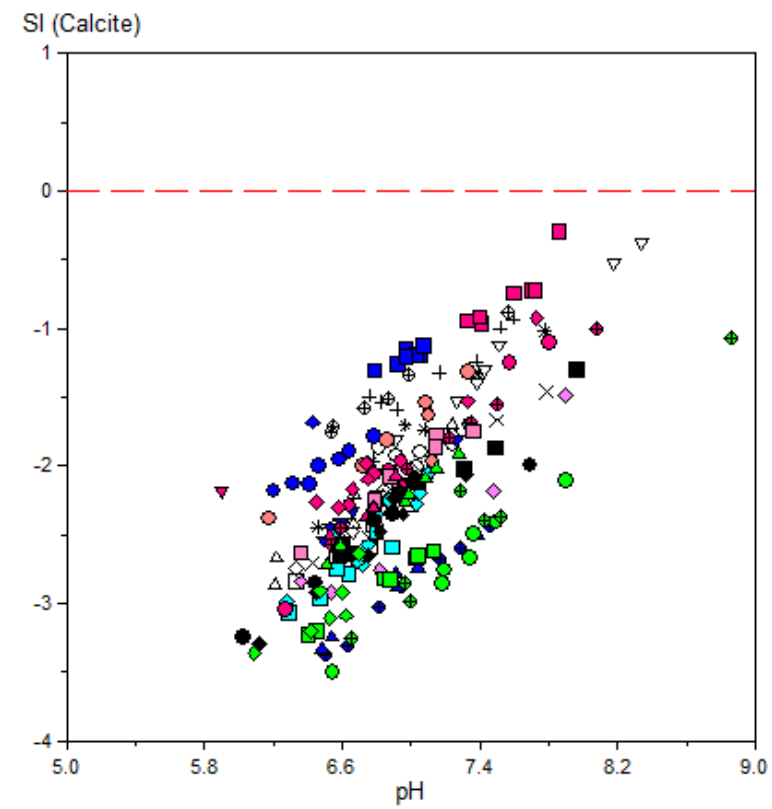


Figura 6.4. Variação do índice de saturação da Calcite em função do pH.

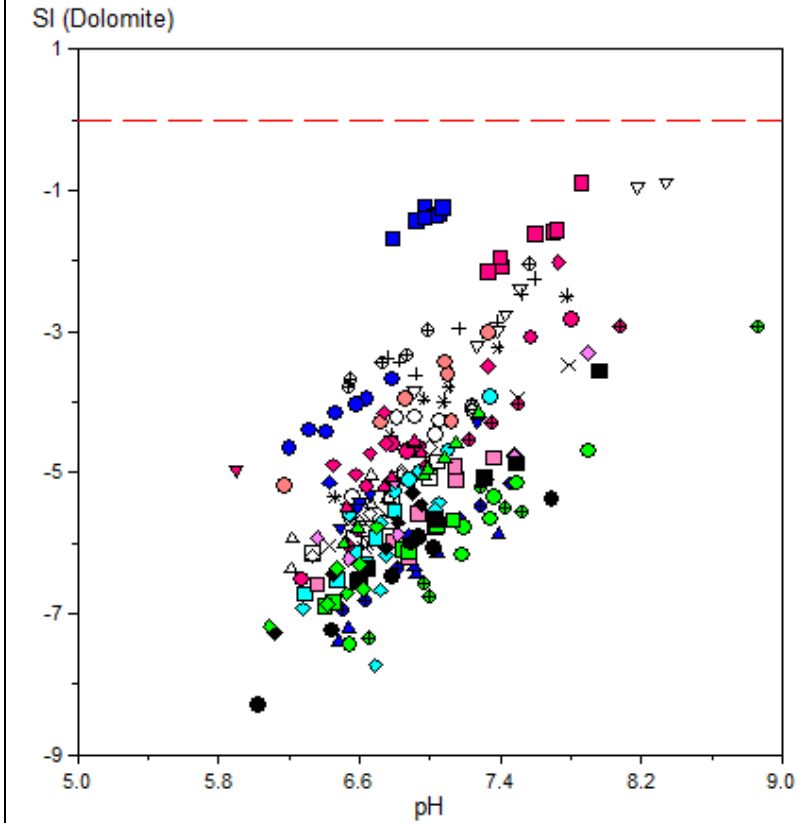


Figura 6.5. Variação do índice de saturação da Dolomite em função do pH.

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Areia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | □ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Pinquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ◆ Galeria de Mina | ● Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grota do Lanço | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◇ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

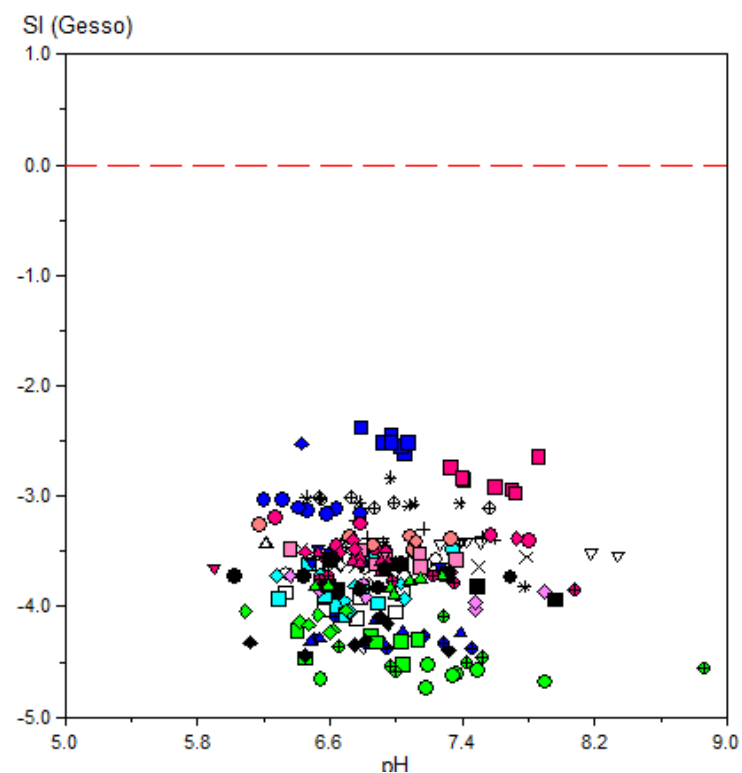


Figura 6.6. Variação do índice de saturação do Gesso em função do pH.

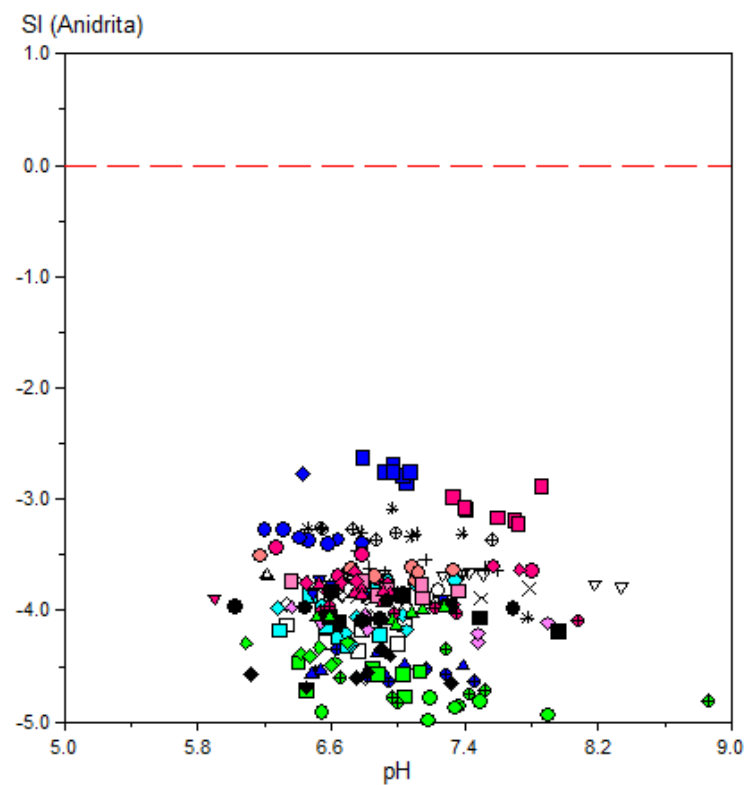


Figura 6.7. Variação do índice de saturação da Anidrita em função do pH.

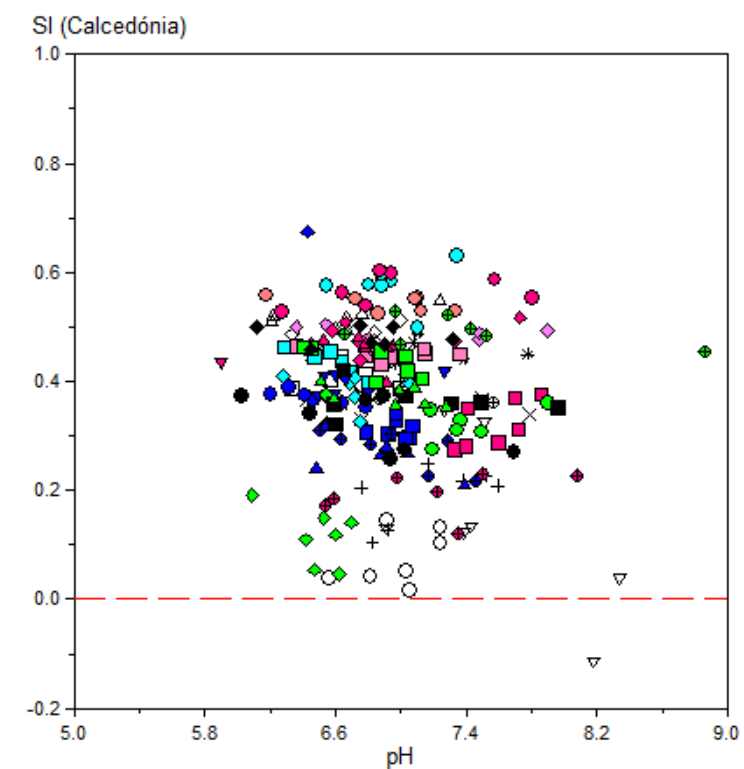


Figura 6.8. Variação do índice de saturação da Calcedónia em função do pH.

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Areia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | ■ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Pinquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ◆ Galeria de Mina | ◆ Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grota do Lango | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◇ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

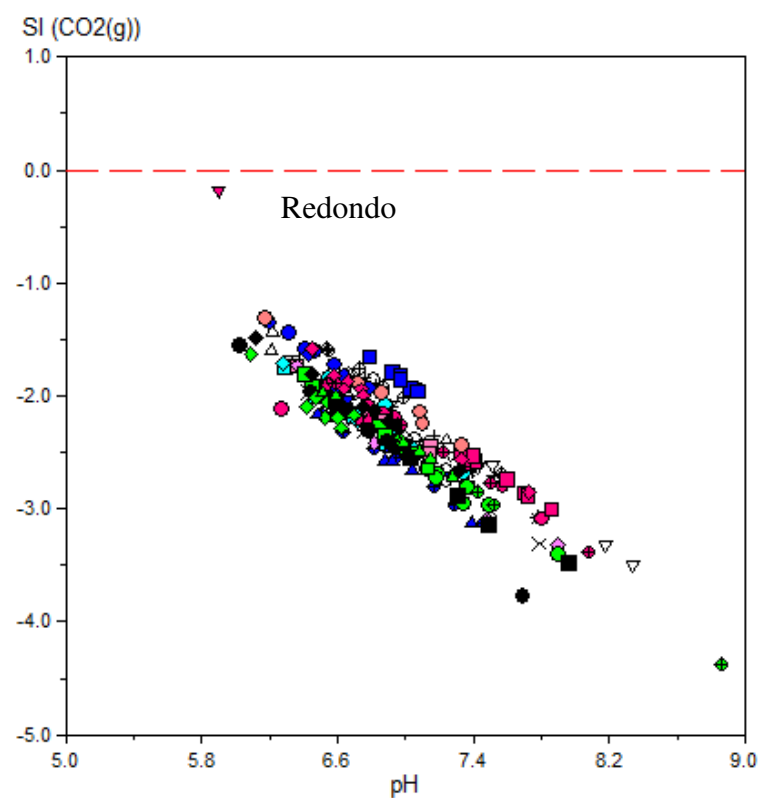


Figura 6.9. Variação do índice de saturação do CO_2 em função do pH.

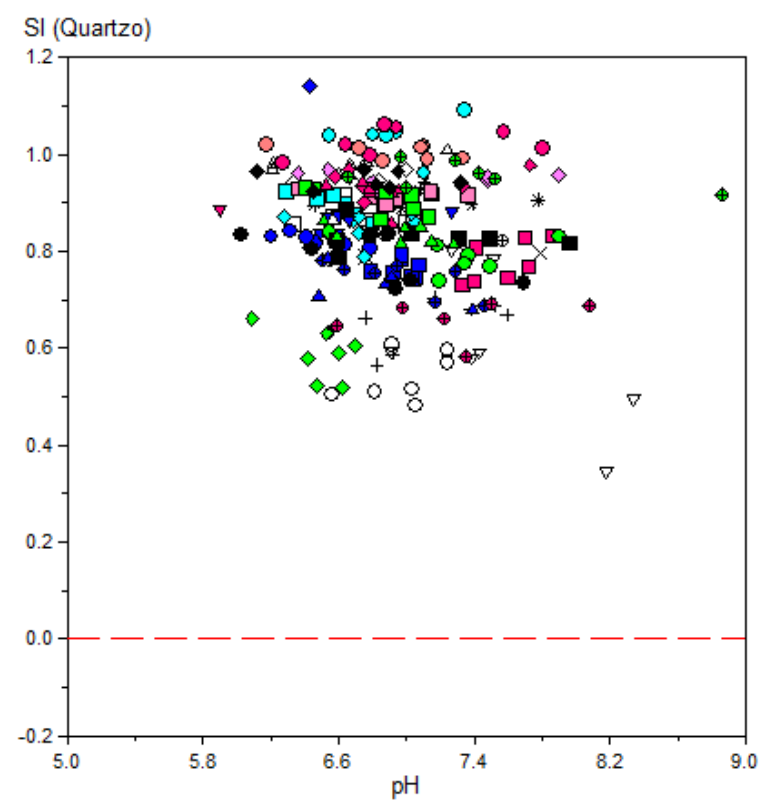


Figura 6.10. Variação do índice de saturação do Quartzo em função do pH.

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Areia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | ■ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Piquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ● Galeria de Mina | ● Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grota do Lanço | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◆ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

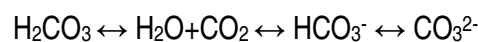
O cálculo dos índices de saturação revelou que todas as amostras de água, à exceção da nascente da Lobeira (Ribeira Quente), se encontram sub-saturadas relativamente à Fluorite (CaF_2), o que significa que o equilíbrio ainda não foi atingido e que está a ocorrer dissolução deste mineral.

As águas monitorizadas encontram-se sub-saturadas em Calcite (CaCO_3) e em dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), dois minerais carbonatados, indicando que o equilíbrio ainda não foi atingido e que está a ocorrer dissolução destes minerais.

Os índices de saturação calculados para o Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e para a Anidrita (CaSO_4) mostram que as águas monitorizadas estão sub-saturadas para estes minerais, havendo tendência para a dissolução destes minerais.

Todas águas subterrâneas estão claramente sobre-saturadas em Calcedónia e em Quartzo, dois minerais cuja composição química é o óxido de silício (SiO_2), facto evidenciado pelos teores elevados de sílica em solução, relacionados com fenómenos de interacção água-rocha e com a predominância de rochas silicatadas na região, havendo tendência para a precipitação destes minerais.

Calculou-se, ainda, o índice de saturação para o gás anidrido carbónico (CO_2) constatando-se uma relação linear directamente proporcional entre a sua solubilidade e o pH, consistente com a reacção de dissociação do CO_2 que conduz à acidificação das águas:



Verifica-se que as águas estudadas não estão saturadas em CO_2 , havendo tendência para a sua dissolução.

6.2. PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS

Sabendo que a concentração das espécies existentes em solução são controladas pelo equilíbrio químico estabelecido entre a água e os minerais que constituem as rochas dos aquíferos, a análise

bivariada entre alguns parâmetros analisados será indicativo dos processos geoquímicos que modificam a composição da água a decorrer, tais como, a interação água-rocha, mistura de fluidos, aquecimento por vapor, intrusão salina, entre outros fenómenos.

O tempo de residência da água no subsolo e o gradiente geotérmico são factores importantes no processo de interação água-rocha (Cruz e França, 2006 *in*: Costa, 2006) e no consequente enriquecimento da água em diversas espécies químicas com papéis importantes no nosso metabolismo.

Nas Figuras 6.11 a 6.20, apresentam-se as principais relações entre as espécies iónicas estudadas.

A relação entre as concentrações em cloreto e em sódio, observada através das Figuras 6.11 e 6.13, demonstra que existem duas tendências na evolução destes parâmetros. A primeira tendência mostra uma dependência entre os dois parâmetros, sendo que estes evoluem de forma linear, o que é consistente com fenómenos de entrada de aerossóis marinhos através da precipitação, que modifica a composição química nas nascentes em altitude. Uma segunda tendência evidencia um aumento na concentração de sódio independente do cloreto, consistente com fenómenos de dissolução de rochas vulcânicas ácidas, mais ricas em alcális, como a pedra-pomes e o ignimbrito.

Note-se que todos os valores, à excepção do furo JK3 e da nascente da Lobeira, apresentam valores bastante baixos em cloreto e em sódio. No caso do furo JK3, por ser uma captação relativamente próxima da costa, a uma profundidade de 90 m, os valores elevados nestes parâmetros deve-se à intrusão salina. No caso da captação de nascente da Lobeira, o enriquecimento em cloreto e em sódio poderão ser originados por fenómenos de origem vulcânica tais como a mistura com fluidos hidrotermais.

Recordando os fenómenos de interação água-rocha em aquíferos ricos em rochas vulcânicas ácidas, estudou-se a relação entre o sódio o bicarbonato de forma a confirmar este fenómeno em diversas captações, tais como, Moinhos das Sete Cidades, Garcia, Pedras Brancas,

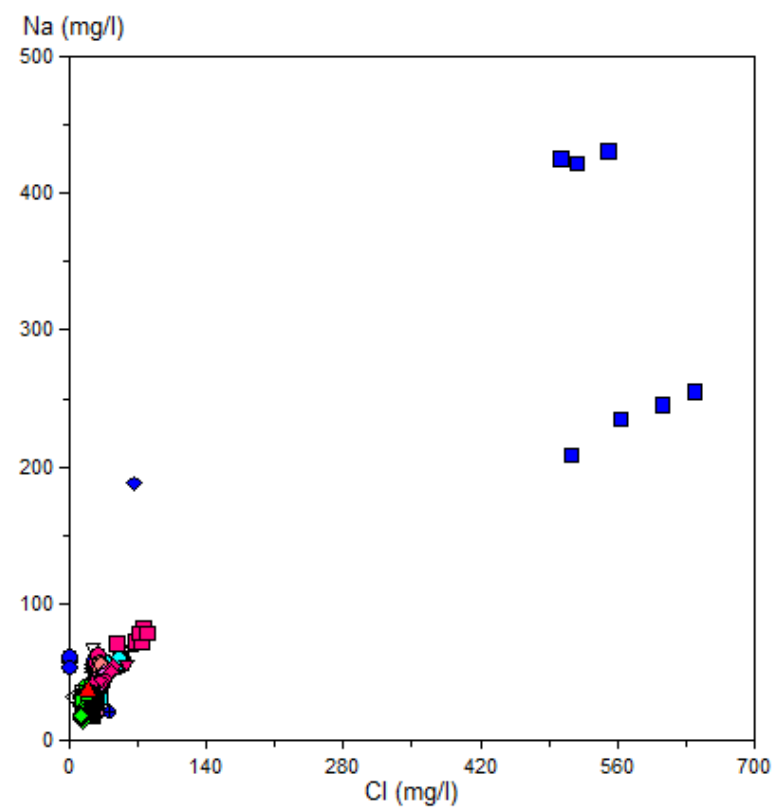


Figura 6.11. Relação entre a concentração de Sódio e de Cloreto.

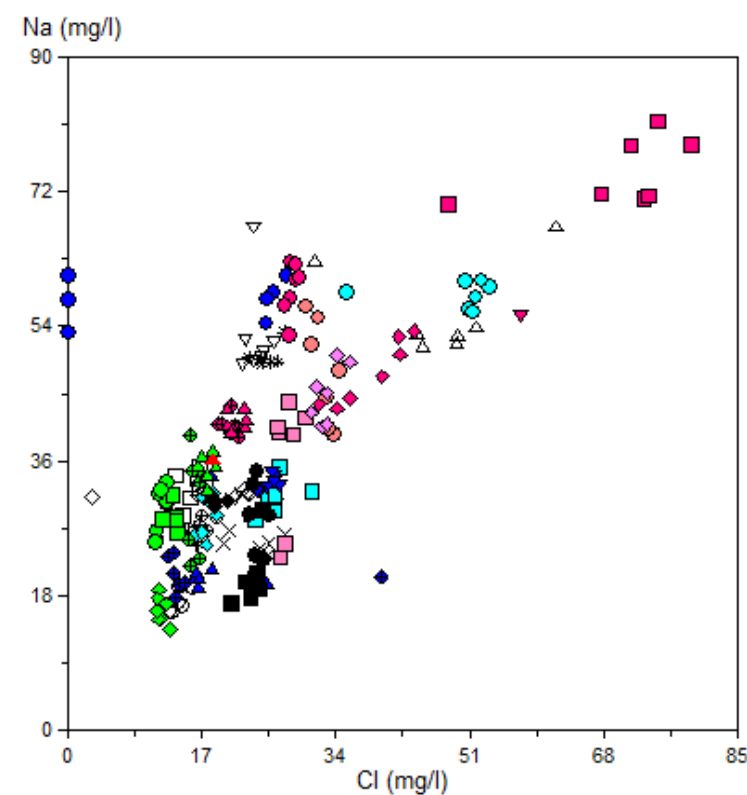


Figura 6.12. Relação entre a concentração de Sódio e de Cloreto (sem Lobeira e sem JK3).

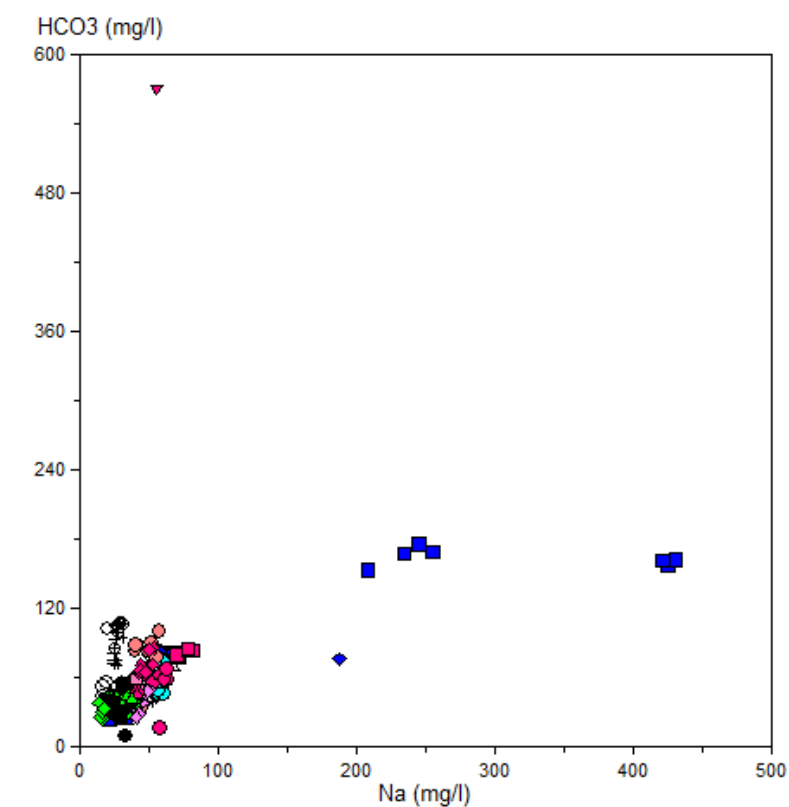


Figura 6.13. Relação entre a concentração em HCO_3^- e de Sódio.

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Areia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | ■ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Pinquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ◆ Galeria de Mina | ◆ Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grot do Lanço | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◆ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

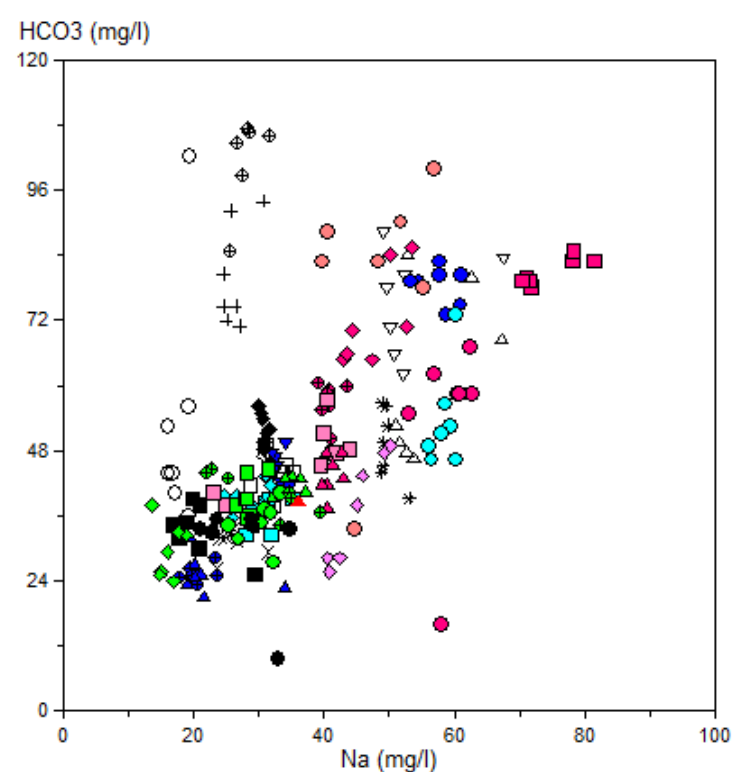


Figura 6.14. Relação entre a concentração em HCO_3^- e de Sódio (sem JK3 e sem Lobeira).

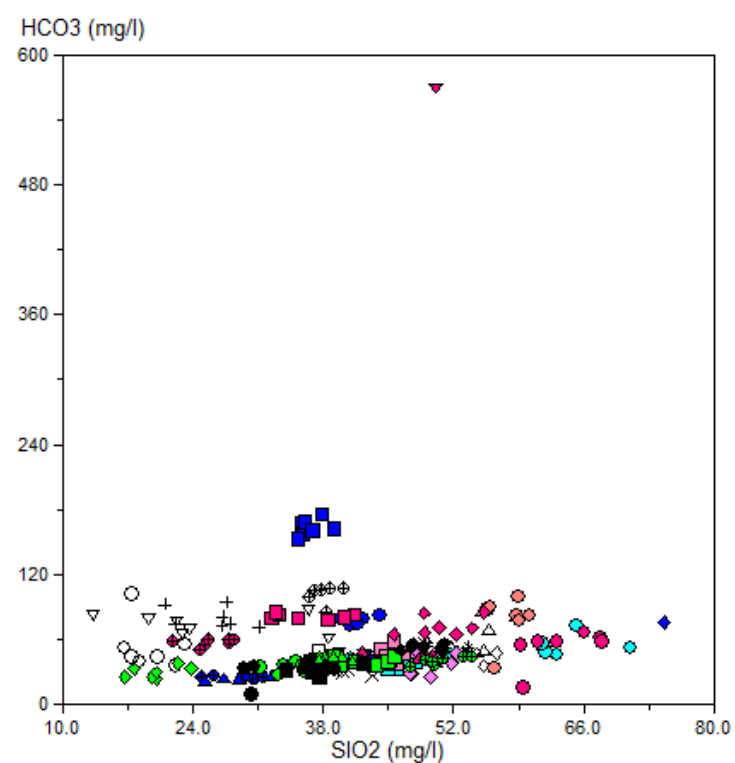


Figura 6.15. Relação entre a concentração em HCO_3^- e SiO_2 .

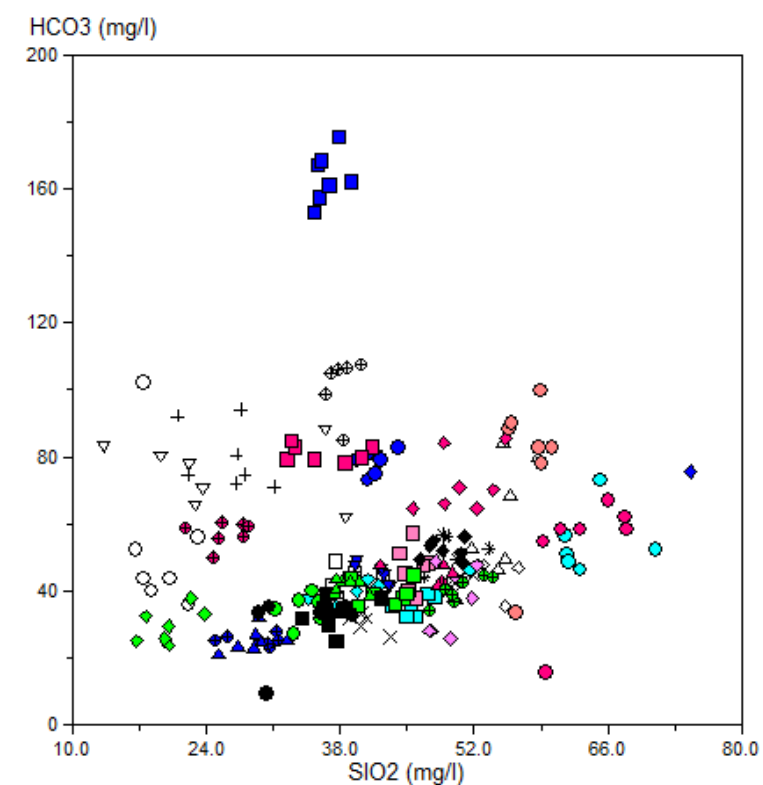


Figura 6.16. Relação entre a concentração em HCO_3^- e SiO_2 (sem Redondo).

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Áreia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | ■ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Pinquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ● Galeria de Mina | ● Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grota do Lanço | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◆ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

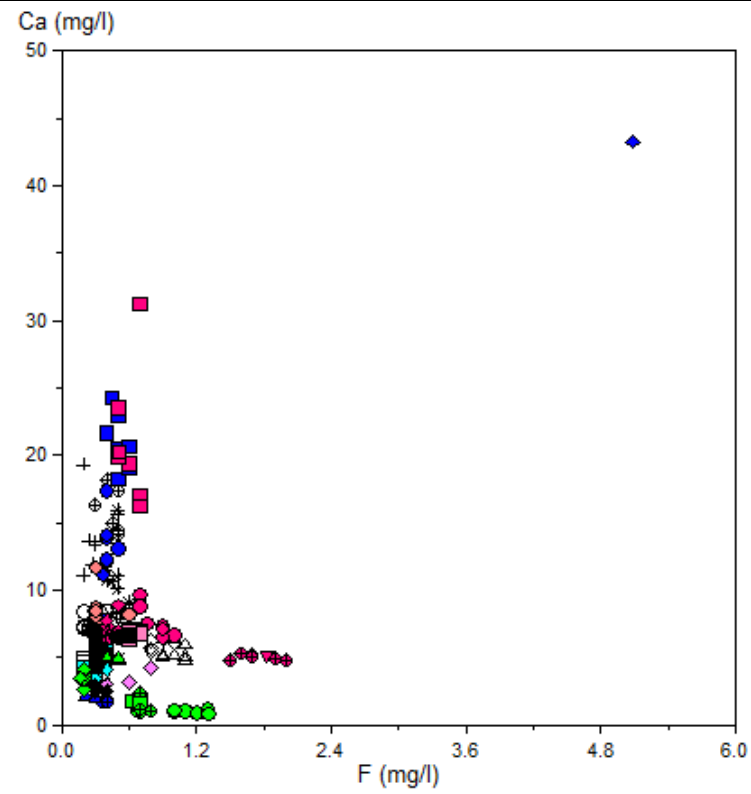


Figura 6.17. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Cálcio.

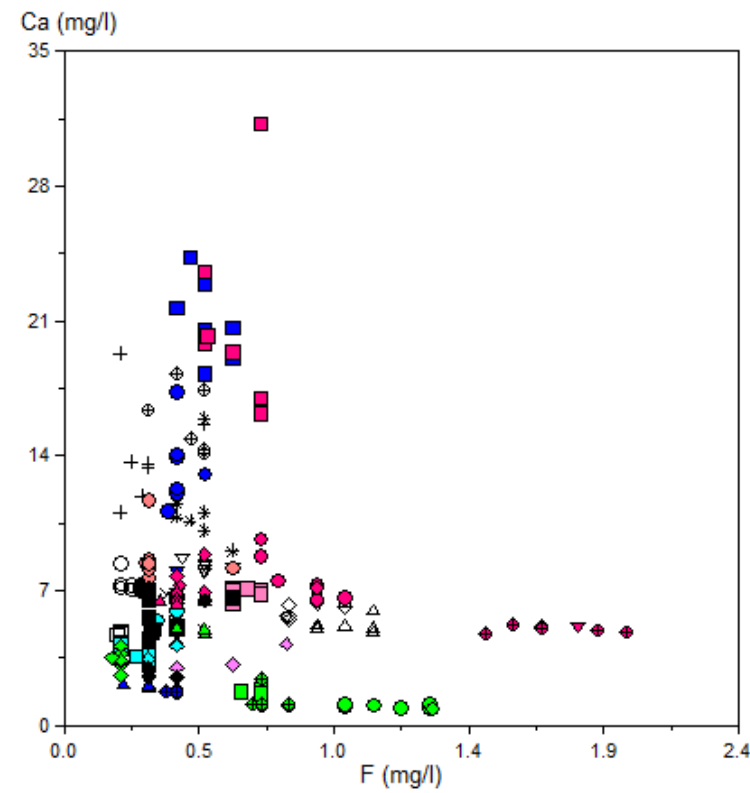


Figura 6.18. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Cálcio (sem Lobeira).

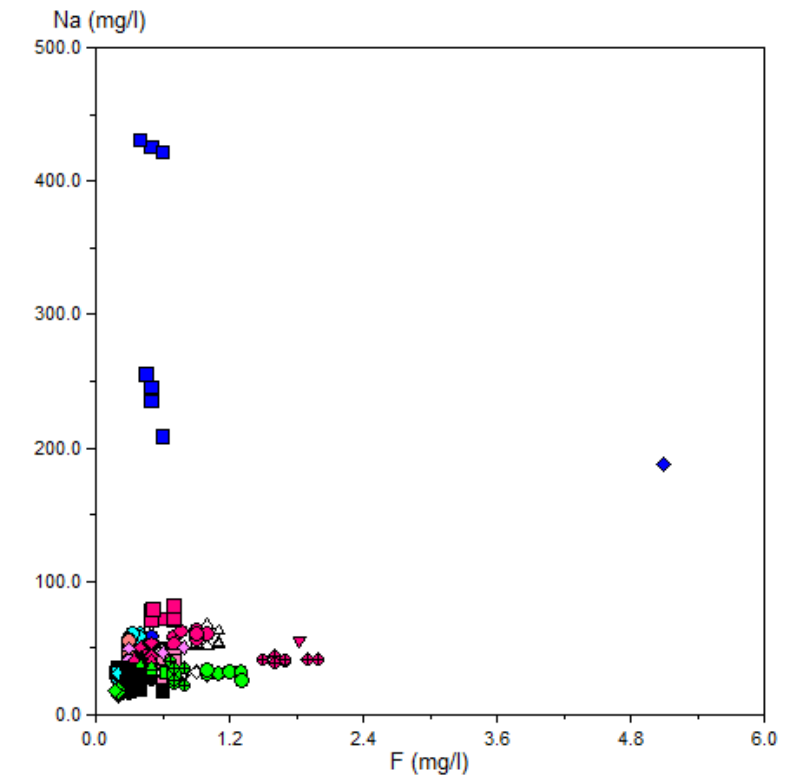


Figura 6.19. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Sódio.

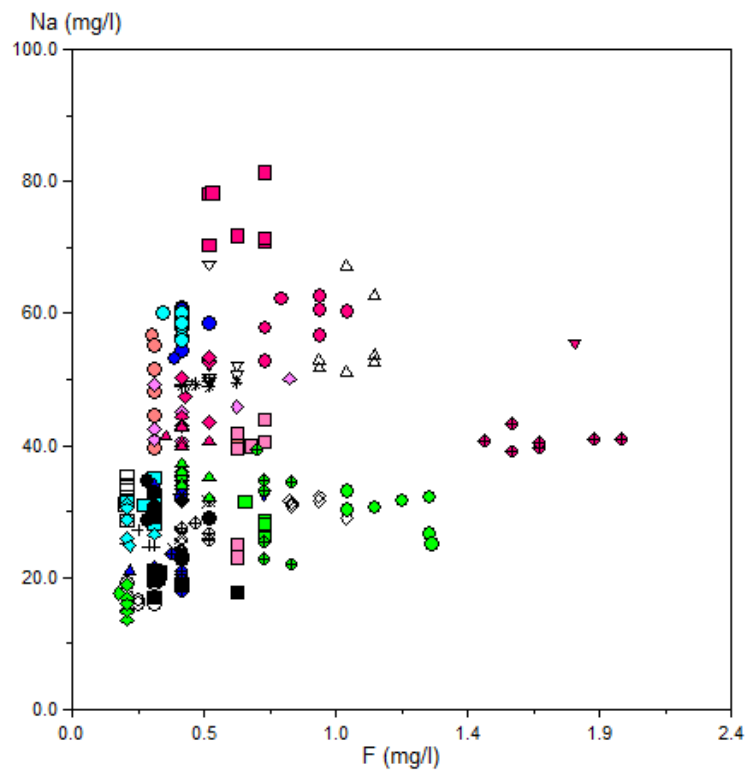


Figura 6.20. Relação entre as concentrações de Fluoreto e de Sódio (sem JK3 e sem Lobeira)

LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ○ Água Nova | ● Mata dos Lagos |
| □ Canário - Poço | ■ Moinhos I |
| ⊕ Cerrado da Areia | ◆ Moinhos das Sete Cidades |
| + Cerrado da Fonte | ● Nicolau Maria |
| × Chã das Fontes | ■ Pedras Brancas |
| * Chã dos Tanques | ◇ Pico do Faial |
| ◇ Couto | ◆ Pinquinhas |
| △ Espigão Alto | ▲ Rabaças |
| ▽ Furo AC-LC1 | ▼ Redondo |
| ● Furo JK2 | ● Ribeira da Praia Este |
| ■ Furo JK3 | ■ Ribeira da Praia Vale |
| ● Galeria de Mina | ◆ Ribeira da Praia Oeste |
| ● Garcia | ● Ribeira do Ferreiro Sul |
| ■ Grotta do Lanço | ■ Ribeira do Ferreiro Norte |
| ◆ Janelas do Inferno | ◆ Ribeira dos Passarinhos |
| ◆ Lobeira | ◆ Roçados |
| ▲ Lourinhos II | ▲ Rocha de Santo António |
| ▼ Mata do Paraíso | |

Mata dos Lagos e Nicolau Maria. Assim sendo, através das Figuras 6.13 e 6.14, constata-se a evolução proporcional entre estes dois iões para as captações acima referidas, indicando um processo de entrada de sódio através da dissolução de minerais silicatados.

Analisando as Figuras 6.15 e 6.16, verifica-se que entre o bicarbonato e a sílica existe uma relação linear ténue, consistente com tempos de residência bastante curtos, o que impede que os fenómenos de interacção água-rocha ocorram de forma vincada. Note-se que as águas estudadas apresentam, por este motivo, uma baixa mineralização, com as excepções já indicadas e anteriormente justificadas, apresentando valores baixos de condutividade eléctrica.

No que diz respeito aos parâmetros fluoreto e cálcio, observam-se duas tendências (Figuras 6.17 e 6.18). A primeira mostra uma ligeira dependência da evolução do cálcio em relação ao fluoreto, o que evidencia fenómenos de interacção água-rocha onde os aquíferos deverão ser essencialmente basálticos, em que os minerais dominantes são ricos em cálcio e em magnésio, comparativamente às rochas vulcânicas mais ácidas. A segunda tendência demonstra um aumento do fluoreto de forma independente do cálcio, o que se justifica pelo facto do fluoreto entrar em solução em resultado da dissolução de minerais silicatados pobres em cálcio. Com efeito, através das Figuras 6.19 e 6.20, onde se representa a relação entre o fluoreto e o sódio, pode-se verificar que as captações cujo aumento de fluoreto está dependente do sódio, são aquelas que nas Figuras 6.17 e 6.19 não apresentam relação com o cálcio. Veja-se, por exemplo, as captações dos Moinhos I, da Ribeira da Praia – Este, das Pedras Brancas e do Nicolau Maria.

CAPÍTULO 7 – FLUOROSE DENTÁRIA

Neste capítulo pretende-se enquadrar as consequências de ingestão prolongada de fluoretos, apresentando, como complemento, um estudo da probabilidade de incidência desta patologia na população abastecida pelos SMAS de Ponta Delgada. Sabendo que o flúor também traz efeitos benéficos para a saúde dentária, também será estudada a probabilidade de incidência de cárie dentária no concelho de Ponta Delgada.

Serão elaboradas duas cartas temáticas, uma carta de perigo de fluoretação para as captações e uma carta de perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária no concelho de Ponta Delgada.

Por último, irá proceder-se à modelação de um sistema de mistura de águas conducente à diminuição do perigo de incidência de fluorose dentária na zona de abastecimento de Bretanha e Remédios e à diminuição do perigo de contracção de cárie dentária nas zonas de abastecimento de Santa Bárbara e Remédios e de Santo António e Capelas, com o recurso às ferramentas reaccionais de mistura do PHREEQC v.2.0 (Parkhurst & Appelo, 1999).

7.1. CONCEITO

A primeira descrição de fluorose dentária data de 1888 nos Estados Unidos da América (EUA), onde os imigrantes de Durango, no México, descreviam os dentes como “enegrecidos”. No entanto, em áreas onde a concentração de fluoreto na água era elevada, a fluorose sempre foi bem conhecida, até mesmo para pessoas comuns, muito embora não designada por este nome.

A fluorose designada como doença endémica é um termo que abrange uma grande variedade de manifestações clínicas de intoxicação por acumulação de flúor, principalmente devido ao consumo prolongado de água com relativamente alta concentração de flúor. Nos casos leves a fluorose manifesta-se por um mosqueamento inestético dos dentes, sendo designada por fluorose dentária. As lesões por fluorose dentária são geralmente bilateralmente simétricas e tendem a apresentar um padrão

estriado horizontal cruzando os dentes (Marques, 1988). Em casos mais graves, as consequências são a fluorose esquelética, incluindo deformidades como joelhos batidos, pernas tortas, curvatura da tibia antero-posterior, cifose, exostose e outros. Os sintomas incluem, também, articulações inchadas, sensibilidade muscular, reumatismo, como a manifestação de dor, especialmente nas articulações, rigidez sistemática, rigidez e movimento prejudicado, ou seja, todos os sintomas de envelhecimento rápido. Outros sintomas poderão também incluir problemas gástricos, sensação de ardor durante a micção, retardamento mental e paraplegia (Dahi, 2009).

Elevadas concentrações de flúor são detectadas na água subterrânea de muitos países, como por exemplo, no Quênia, na Nigéria, na África do Sul, na Tanzânia, nos EUA, na China, na Índia, no Japão, na Coreia e na Austrália. Para além destes, outros 33 outros países apresentam concentrações anormais de flúor na água subterrânea. Nesses casos, principalmente nos países mais quentes, diversos autores referem que a presença de flúor na água consumida regularmente, numa concentração superior a 1,0 mg/L, poderá conduzir à fluorose dentária (Susheela & Bhatnagar, 2000).

A fluorose, sendo uma doença incurável, só pode ser atenuada através da prevenção e controle. Se a doença for diagnosticada precocemente, é facilmente evitável com duas grandes intervenções: água potável e suplementação nutricional (Susheela & Bhatnagar, 2000).

Sabe-se que a deficiência em proteínas, em vitamina C, em cálcio, e a má nutrição em geral, agravam a toxicidade do flúor. Dados obtidos a partir de inquéritos alimentares, sugerem que a inadequada ingestão de ácido ascórbico e de cálcio estão relacionados com a gravidade de fluorose. Estudos anteriores relataram que os efeitos tóxicos do flúor são reversíveis e podem ser efectivamente contrariados com a retirada da fonte de flúor e o suplemento posterior de cálcio, vitamina C, E e D. A extensão da reversão observada foi mais pronunciada e benéfica após a suplementação combinada de cálcio e vitamina C na recuperação das alterações induzidas pelo flúor na estrutura e no metabolismo dos tecidos moles (Susheela & Bhatnagar, 2000).

O tratamento com cálcio, vitamina C e D mostrou uma melhoria significativa na fluorose esquelética e nos parâmetros bioquímicos de crianças cuja água de consumo frequente apresenta uma concentração de 4,5 mg/L de flúor. Um papel protector de b-caroteno e da enzima superóxido dismutase foi

observado no crescimento comprometido e no estado antioxidante pobre de ratos expostos à toxicidade de flúor.

7.2. PRIMEIROS ESTUDOS

A investigação sobre fluoretos e com impacte na saúde pública teve início em 1901 quando o médico dentista Frederick McKay abriu um consultório em Colorado Springs (Colorado, EUA) e observou que os habitantes locais possuíam manchas acastanhadas nos dentes. McKay deu então início a uma investigação epidemiológica, apoiado pelo investigador Dr. G. V. Black.

Em 1915, ano em que faleceu G. V. Black, a equipa investigadora já tinha feito duas descobertas cruciais. Primeiro, provaram que o esmalte acastanhado era o resultado de falhas no desenvolvimento dos dentes nas crianças, pelo que os residentes que não manifestavam as manchas não corriam o perigo de as contrair com a dentição permanente. Contudo, as crianças que não apresentavam manchas nos dentes, mas cuja dentição permanente ainda não tinha aparecido, corriam elevado perigo de vir a apresentar sintomas. Em segundo lugar, os investigadores descobriram que os dentes que apresentava estas manchas eram surpreendente e inexplicavelmente resistentes à contracção de cáries. Nesta época, já McKay suspeitava que a água para consumo humano devia conter algum ingrediente que permitia essa condição (NIDCR, 2008).

Foi em 1923 que esta ideia tomou maior projecção quando McKay descobriu uma família cujas manchas começaram a surgir logo após terem construído um poço que aproveitava a água subterrânea na região de Oakley em Colorado Springs.

Após alguns anos de investigação, e de algumas análises efectuadas à água subterrânea local e em água subterrânea captada em Bauxite (Arkansas, EUA), onde a população também manifestava manchas acastanhadas nos dentes, o químico que trabalhava com McKay, Dr. H. V. Churchill, descobriu que estas águas apresentavam concentrações anormais em fluoretos (NIDCR, 2008), compreendendo valores entre 2,0 e 13,7 mg/L (Fawell *et al*, 2006). Após esta descoberta, levado a cabo no final de 1930, o termo fluorose foi adoptado para substituir o termo até então utilizado de “Mancha de Colorado” (Fawell *et al*, 2006). No final dos anos 30, os investigadores Dr. H. Trendley Dean e Dr. Elias Elvove

descobriram que a água para consumo humano com concentrações superiores a 1,0 mg/L conduziam à fluorose dentária (NIDCR, 2008).

Em 1944, Dean reviu as teorias de McKay e de Black, e tentou provar que a adição de flúor à água, em concentrações seguras, poderia evitar o aparecimento de cáries nos dentes. Em 1945, Grand Rapids (Michigan, EUA) tornou-se a primeira cidade sujeita à fluoretação da água para consumo humano. Após a introdução de fluoretos na água, as crianças de Grand Rapids, nascidas após a fluoretação, reduziram as cáries em 60% (NIDCR, 2008). As concentrações aplicadas compreendiam valores entre 0,7 e 1,2 mg/L (Fawell *et al*, 2006).

No desenvolvimento dos seus trabalhos, Dean desenvolveu uma forma de classificar a gravidade da fluorose dentária, surgindo em 1942 o Índice de Dean (Kozlowloszi & Kozlowloszi Júnior, 2000).

7.3. OUTRAS PATOLOGIAS

A toxicidade aguda por ingestão de fluoretos é um caso invulgar. A dose letal mínima no adulto é de duas gramas de flúor (32 a 64 mg/kg no adulto e 15 mg/kg na criança). A ingestão acidental de dentífrico (1500 mg/L) pode por em risco a vida da criança de um ano. Os sintomas da toxicidade aguda compreendem a dor abdominal, vômitos, hematemeses (vômito de sangue), melenas (queixas digestivas), bem como outros problemas de origem renal, metabólica, cardiovascular (arritmias, hipotensão) e respiratória (apneias).

A dose diária de fluoretos administrados por via sistémica isenta de toxicidade crónica situa-se abaixo de 0,05 mg/kg.dia. A partir destes valores poderá ocorrer a fluorose dentária, identificada pela hipomineralização do esmalte. Até 3 mg/L de concentração na água de abastecimento pública, o ser humano apenas está exposto ao risco de contracção de fluorose dentária, contudo, após esta concentração, para além do risco de contracção de fluorose esquelética, também aumenta o risco de nefrotoxicidade (problemas renais).

Como recomendação da OMS, as crianças até aos 6-7 anos não devem ingerir regularmente água com teor em fluoretos superior a 0,7 ppm (PNPSO, 2005).

7.4. ESTUDO DA PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE FLUOROSE DENTÁRIA E DE CONTRACÇÃO DE CARIE DENTÁRIA NO CONCELHO DE PONTA DELGADA

Estudos da International Commission on Occupational Health (ICOH) durante os anos 1981 a 1983 indicam que a fronteira acima da qual a fluorose ocorre é de 0,4 a 0,65 mg/L. A equipa de pesquisa determinou os 0,5 mg/L como valor máximo tolerável na Índia (Rajchagool, S. and Rajchagool, 2000). Note-se que factores como as elevadas temperaturas, permitiam uma ingestão de água superior ao normal.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o valor mínimo a partir do qual as cáries dentárias poderão surgir devido à carência de flúor, é de 0,5 mg/L (Fordyce *et al*, 2007). Assim sendo, para efeitos de cálculo da probabilidade de contracção de carie dentária no concelho de Ponta Delgada, as águas cuja concentração apresenta valores inferiores ou iguais a 0,5 mg/L, serão consideradas como potencialmente favoráveis ao aparecimento de cáries dentárias.

Tal como já referido no capítulo anterior, estudos epidemiológicos efectuados pela OMS sobre os efeitos do flúor na saúde humana referem que valores compreendidos entre 1,0 e 1,5 mg/L de concentração na água para consumo humano não representam riscos acrescido. Contudo, valores entre 1,5 e 2,0 mg/L, em climas quentes (maior consumo de água) poderão contribuir para a ocorrência de casos de fluorose dentária, e valores entre 3,0 e 6,0 mg/L poderão contribuir para o aparecimento da fluorose óssea ou esquelética.

Atendendo que a legislação Nacional, à semelhança da OMS, determinou um valor paramétrico, ou máximo admissível de 1,5 mg/L. Valores superiores a este serão considerados neste estudo para efeitos de cálculo da probabilidade de incidência de fluorose dentária no concelho de Ponta Delgada.

7.4.1 ÍNDICE DE FLUOROSE DENTÁRIA

Dean (1934) recomenda que a fluorose seja diagnosticada e dividida em níveis segundo a evolução da doença com base no número de manchas brancas, cavitações e manchas acastanhadas.

O Índice de Dean, por ser preconizado pela OMS, é muito utilizado por pesquisadores da área de saúde, epidemiologistas e profissionais que trabalham com programas em saúde colectiva. Segundo Dean podemos classificar a fluorose de acordo com o descrito na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Classificação de Dean para Índice de Fluorose Dentária (adaptado de Cabral *et al*, 2005).

0	Normal	Sem fluorose
1	Questionável	Pequenas manchas no esmalte, raras e difíceis de discernir
2	Muito leve	Pequenas áreas opacas brancas, porosas em alguns dentes, sem envolver mais que 25% da superfície
3	Leve	Áreas mais extensas, porém sem envolver mais que 50% da superfície dentária
4	Moderado	A maior parte da superfície do esmalte é atingida, há desgaste nítido nas superfícies sujeitas ao atrito, aparecendo manchas castanhas ou amarelas
5	Grave	Todas as superfícies são atingidas afectando a morfologia dentária. Existem depressões isoladas ou confluentes e manchas castanhas em muitos lugares, aspecto corroído do esmalte.

Segundo o estudo regional de prevalência das doenças orais na população escolarizada da Região Autónoma dos Açores, o Índice Médio de Fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada é de 1,0, sendo de 0,9 na ilha de São Miguel e de 0,7 no arquipélago dos Açores.

7.4.2 ÍNDICE DE CÁRIE DENTÁRIA NA DENTIÇÃO PERMANENTE

O índice CPOD é um instrumento de medida de número de dentes cariados, perdidos e obturados por indivíduos, sendo um índice comumente utilizado para registar a cárie dentária na dentição permanente em determinado grupo etário.

A cárie dentária é uma doença infecciosa pós-eruptiva, transmissível e bastante influenciada pela dieta. É, quase sempre, caracterizada por uma destruição progressiva e centrípeta dos tecidos mineralizados dos dentes e, na sua fase inicial, necessita da presença da placa bacteriana sobre a superfície do dente para se poder desenvolver (Cabral *et al*, 2005).

O flúor ingerido através da alimentação e do consumo de água, bem como a sua aplicação tópica, aumenta a resistência dos tecidos dentários à sua dissolução pelos ácidos resultantes do metabolismo das bactérias cariogénicas presentes na placa bacteriana (Amorim, 2009).

A OMS recomenda a idade de 12 anos para avaliar a experiência de cárie dentária em dentição permanente para crianças em idade escolar, tendo estabelecido como meta mundial para o ano 2000 um CPOD médio menor ou igual a 3 para esta idade, para o ano 2010, um CPOD médio menor que 1, e para o ano 2020, um CPOD médio menor que 1,5 (PNPSO, 2005).

Na tabela 7.2 apresenta-se os critérios de diagnóstico do índice CPOD.

Tabela 7.2. Classificação CPOD para Índice de Cárie Dentária (adaptado de Cabral *et al*, 2005) (a designação numérica refere-se à dentição permanente e a designação alfabética refere-se à dentição decídua)

0 (A)	Dente Hígido	Quando não apresenta clinicamente vestígios de cárie tratada ou não.
1 (B)	Dente Cariado	Quando uma lesão em sulco, fissura ou superfície lisa (vestibular ou lingual) apresentar tecido amolecido na base, descoloração do esmalte ou de parede ou possuir uma restauração temporária.
2(C)	Dente Obturado com cárie	Quando possui uma ou mais restaurações e ao mesmo tempo uma ou mais áreas cariadas. Não há distinção entre cáries primárias e secundárias. Ou seja, se as lesões estão ou não estão em associação física com a(s) restauração(ões).
3 (D)	Dente obturado sem cárie	Quando uma ou mais restaurações definitivas estiverem presentes e inexistir cárie primária ou recorrente. Um dente com coroa consequente a outras causas como trauma ou como suporte de prótese é codificado como excluído.
4 (E)	Dente perdido por cárie	Utilizado quando um elemento da dentição permanente ou temporária foi extraído por causa de cárie. Para dentição temporária este código deve ser aplicado apenas quando o indivíduo estiver numa faixa etária na qual a esfoliação normal não constitui justificativa suficiente para ausência.
5	Dente Permanentemente perdido por outra razão que não seja cárie	Quando a ausência for motivada por razões ortodónticas, periodontais, ou for congénita.
6 (F)	Selante ou verniz	Para os casos em que um selante de fissura foi colocado, ou quando a fissura oclusal foi alargada para receber um compósito. Se o dente possui selante e está cariado, deve ser codificado como 1 ou B (cárie).
7 (G)	Apoio de ponte ou coroa	Indica um dente que é parte de uma prótese fixa. Este código pode ser utilizado para coroas por razões que não a cárie. Cabe frisar que dentes extraídos e substituídos por um elemento de ponte fixa são codificados como 4 ou 5. Anotar

		aqui apenas os dentes que servem de pilares para pontes.
8	Dente não erupcionado	Restrito à dentição permanente e desde que não exista dente temporário no espaço livre.
T	Traumatismo	Uma coroa fracturada é quando parte da sua superfície está ausente como resultado de um traumatismo mas sem evidência de cáries.
9	Dente excluído	Aplicado a qualquer dente que não possa ser examinado.

Segundo o estudo regional de prevalência das doenças orais na população escolarizada da Região Autónoma dos Açores, o Índice CPOD, no grupo etário de 12 anos, é de 1,5 no concelho de Ponta Delgada, 2,0 na ilha de São Miguel e 2,1 no arquipélago dos Açores, sendo que a percentagem de crianças estudadas isentas de cárie dentária foi de 29,1% em todo o arquipélago.

7.4.3 CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE FLUOROSE DENTÁRIA E DE CONTRACÇÃO DE CÁRIE DENTARIA NO CONCELHO DE PONTA DELGADA

Analisando a probabilidade de incidência de fluorose dentária e de cárie dentária por zona de abastecimento, e considerando os valores populacionais registados na base de dados da ERSARA para efeitos de PCQA a decorrer no ano corrente (2011), poderá calcular-se esta percentagem a partir dos valores médios de fluoreto determinado na água distribuída em cada uma das 23 zonas.

Na Figura 7.1 apresenta-se a evolução temporal da concentração em fluoreto nas zonas de abastecimento.

As diferenças de concentração de fluoreto na água distribuída em algumas zonas de abastecimento devem-se à grande flexibilidade de abastecimento de uma zona a partir de varias captações, tendo a entidade gestora a preocupação de diluir as origens de água de forma a diminuir os valores de fluoreto na mistura.

Tal como já referido, e de acordo com diversas publicações da OMS, para efeitos de cálculo da probabilidade de aparecimento de cáries dentárias no concelho de Ponta Delgada serão consideradas as águas cuja concentração apresenta valores inferiores ou iguais a 0,5 mg/L e para efeitos de cálculo da probabilidade de incidência de fluorose dentária no concelho de Ponta Delgada serão consideradas as águas cuja concentração apresenta valores superiores a 1,5 mg/L.

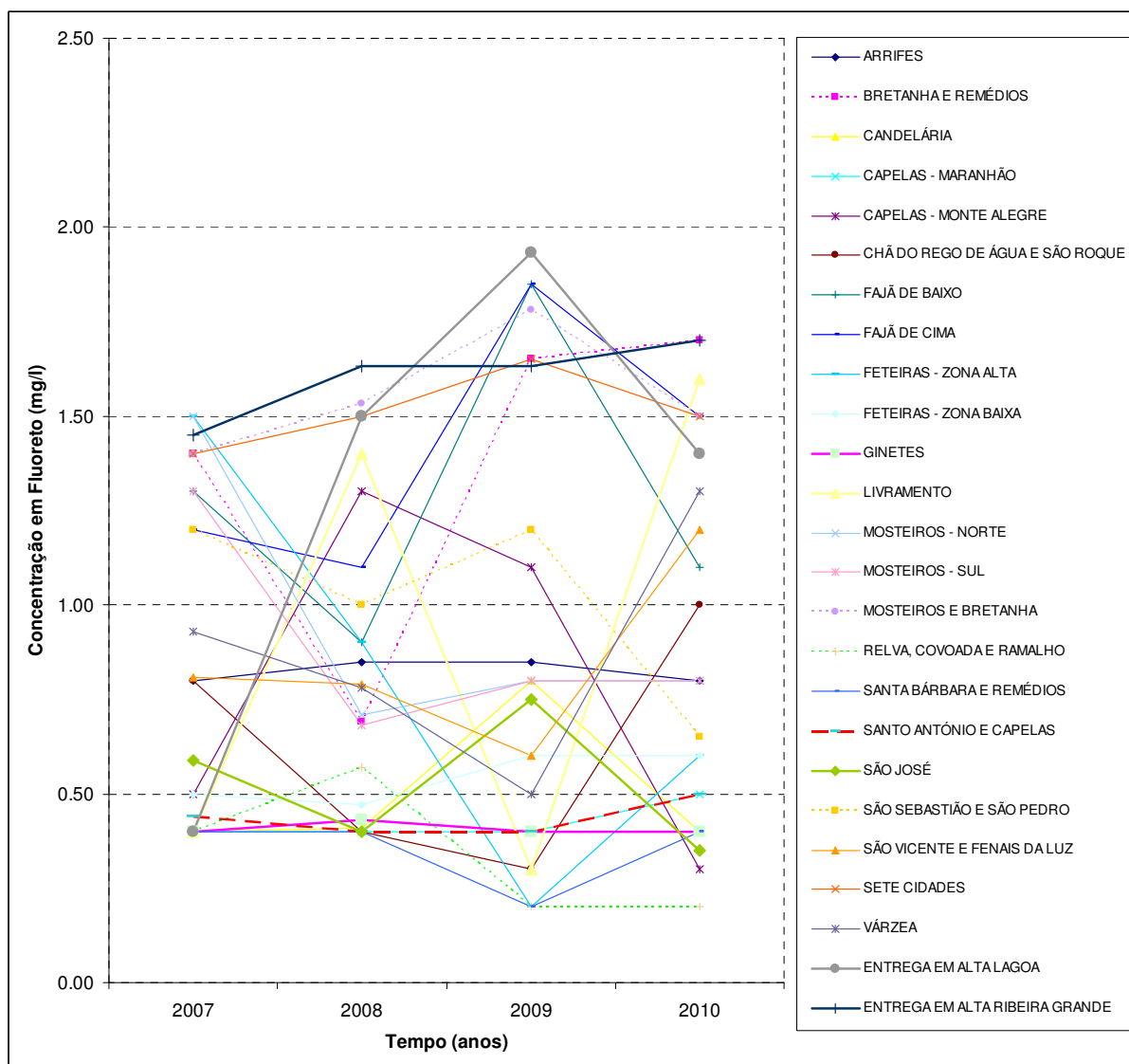


Figura 7.1. Evolução temporal da concentração em fluoreto registada entre 2007 e 2010.

Calcularam-se as probabilidades para o período compreendido entre 2007 e 2010, com base nos valores médios de fluoreto registados para as diferentes zonas de abastecimento (dados dos SMAS de Ponta Delgada), valores apresentados na Tabela 7.3. Para o efeito, utilizou-se a estimativa da entidade gestora para a população residente nas diferentes zonas de abastecimento.

Tabela 7.3. Valores de concentração média de fluoreto na rede de distribuição para as diferentes zonas de abastecimento geridas pelos SMAS de Ponta Delgada.

Zonas de Abastecimento		População (hab.)	Fluoreto (mg/L)			
			2007	2008	2009	2010
A	Arrifes	6941	0,80	0,85	0,85	0,80
B	Bretanha e Remédios	1332	1,40	0,69	1,65	1,70
C	Candelária	1184	0,40	0,41	0,80	0,40
D	Capelas – Maranhão	500	0,40	0,40	0,40	0,50
E	Capelas – Monte Alegre	1100	0,50	1,30	1,10	0,30
F	Chã do Rego De Água E São Roque	4491	0,80	0,40	0,30	1,00
G	Fajã de Baixo	4553	1,30	0,90	1,85	1,10
H	Fajã de Cima	3635	1,20	1,10	1,85	1,50
I	Feteiras – Zona Alta	855	1,50	0,90	0,20	0,60
J	Feteiras – Zona Baixa	855	0,50	0,47	0,60	0,60
L	Ginetes	845	0,40	0,43	0,40	0,40
M	Livramento	3489	0,40	1,40	0,30	1,60
N	Mosteiros – Norte	399	1,50	0,71	0,80	0,80
O	Mosteiros – Sul	399	1,30	0,68	0,80	0,80
P	Mosteiros e Bretanha	1465	1,40	1,53	1,78	1,50
Q	Relva, Covoada e Ramalho	4962	0,40	0,57	0,20	0,20
R	Santa Bárbara e Remédios	1212	0,40	0,40	0,20	0,40
S	Santo António e Capelas	3661	0,44	0,40	0,40	0,50
T	São José	7627	0,59	0,40	0,75	0,35
U	São Sebastião e São Pedro	11486	1,20	1,00	1,20	0,65
V	São Vicente e Fenais Da Luz	3559	0,81	0,79	0,60	1,20
W	Sete Cidades	858	1,40	1,50	1,65	1,50
X	Várzea	422	0,93	0,78	0,50	1,30
Y	Entrega em Alta Lagoa	-	0,40	1,50	1,93	1,40
Z	Entrega em Alta Ribeira Grande	-	1,45	1,63	1,63	1,7

Assim sendo, as probabilidades de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária nestas zonas de abastecimento são as apresentadas na Tabela 7.4.

Tabela 7.4. Valores de probabilidade de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada.

	População (hab.)	Anos			
		2007	2008	2009	2010
Probabilidade de contracção de cárie dentária	6941	27.05%	25.80%	31,05%	32.04%
Probabilidade de incidência de fluorose dentária	1332	0.00%	2.23%	17.99%	7.32%

Através da análise da Figura 7.2, podemos verificar a variação temporal das probabilidades de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada.

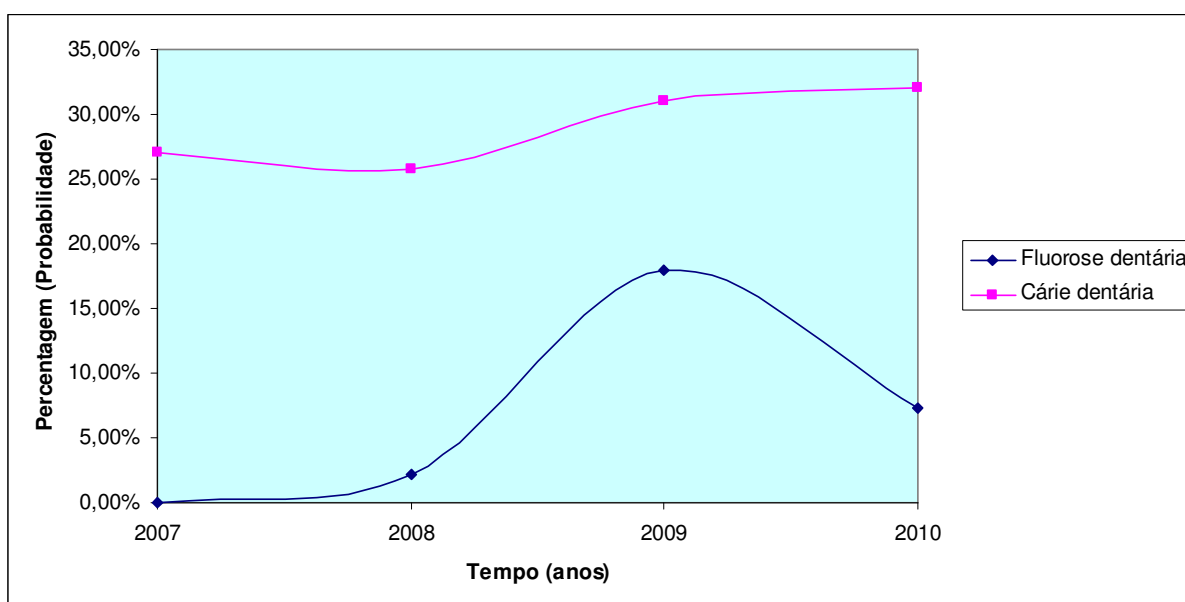


Figura 7.2. Representação gráfica dos valores de probabilidade de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária para o concelho de Ponta Delgada.

A área do gráfico compreendida entre as duas curvas corresponde à população que não apresenta probabilidade de contracção de cárie dentária nem de fluorose dentária.

Em relação a 2011, ainda não existem dados para todas as zonas de abastecimento, mas entretanto já existe uma probabilidade mínima de 14% de incidência de fluorose dentária na população do concelho. Contudo, no que diz respeito a 2011, a subida ligeira de concentração de fluoreto nas águas captadas,

com especial atenção para as captações de Moinhos Sete Cidades e para as nascentes da Ribeira da Praia.

Atendendo que nos pontos de entrega em alta não se conhece a população abastecida, nem a fracção de mistura na rede e nem as características da água fornecida por estes concelhos, as probabilidades de contracção de cárie dentária e de incidência de fluorose dentária foram calculadas sem incluir estas zonas.

7.4.4 CARTAS DE PERIGO

Com a ajuda de um sistema de informação geográfica, elaborou-se duas cartas temáticas que representam o perigo de fluoretação da água captada e o perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária no concelho de Ponta Delgada.

Para o efeito, analisou-se a evolução temporal da concentração de fluoretos nas diferentes águas captadas, verificando-se que as mesmas não apresentavam grande variabilidade nos valores durante as campanhas, como se pode verificar pela Figura 7.3.

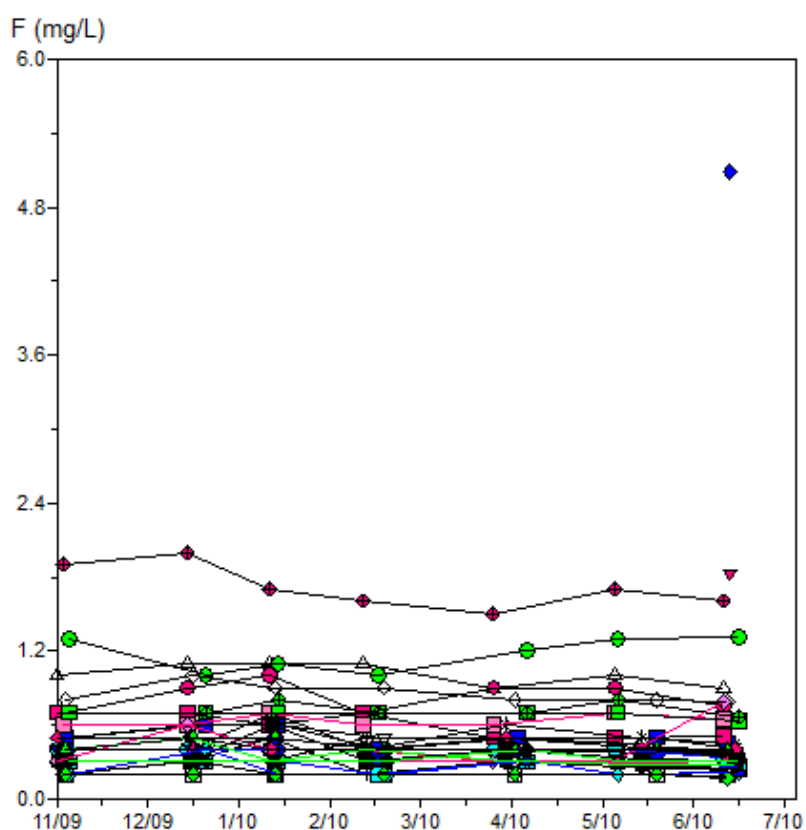




Figura 7.3. Evolução temporal da concentração em fluoretos (mg/L).

Assim sendo, a classificação utilizada teve por base a uniformidade dos dados registados em fluoreto nas águas monitorizadas.

Para a elaboração da carta de perigo de fluoretação da água captada, utilizaram-se os resultados obtidos de fluoreto nas águas monitorizadas, criando cinco classes modais. Para o efeito, conforme apresentado na Tabela 7.5, foram utilizados como limites os valores extremos os quartis e o valor paramétrico (mg/L):

Tabela 7.5. Representação do perigo de fluoretação das captações monitorizadas através da criação de classes modais.

1ª Classe	●	[0,17 – 0,30]	⇒	[Mínimo – 1º Quartil]
2ª Classe	●]0,30– 0,40]	⇒]1º Quartil – Mediana]
3ª Classe	●] 0,40– 0,60]	⇒]Mediana – 3º Quartil]

4ª Classe	]0,60 – 1,50]	⇒]3º Quartil – VP]
5ª Classe	]1,50 – 2,00]	⇒]VP – Máximo]

Na Figura 7.4, encontra-se representada a carta temática supracitada.

Com base nos dados de concentração de fluoreto (mg/L) observados no mesmo período para a água distribuída na rede para as diferentes zonas de abastecimento, elaborou-se uma carta temática de perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária para as diferentes zonas de abastecimento, utilizando a seguinte classificação (Tabela 7.6):

Tabela 7.6. Representação do perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária.

$\leq 0,50$	⇒	Perigo de contracção de cárie dentária
$0,50 < F < 1,50$	⇒	Zona segura
1,5	⇒	Zona limite
$> 1,50$	⇒	Perigo de contracção de fluorose dentária

Para o efeito, a carta temática que representa o perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contracção de cárie dentária, é apresentada na Figura 7.5.

Como se pode verificar pelas Figuras 7.4 e 7.5, o perigo de fluoretação maior ocorre na captação de nascente dos Moinhos das Sete Cidades, o que se reflecte um maior perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária nas zonas de abastecimento por ela abastecida, nomeadamente, Sete Cidades, Mosteiros e Bretanha e Bretanha e Remédios. Também existe perigo de incidência de fluorose dentária na zona de abastecimento de Livramento, reflexo da elevada concentração em fluoretos verificada na mistura de água oriunda das nascentes da Ribeira da Praia.

Note-se que o perigo de incidência de fluorose dentária nas zonas de abastecimento de Sete Cidades e de Mosteiros e Bretanha é atenuado com a diluição das nascentes de Pedras Brancas (Sete Cidades) e do Garcia (Mosteiros), muito embora sejam captações que apresentam perigo de fluoretação.

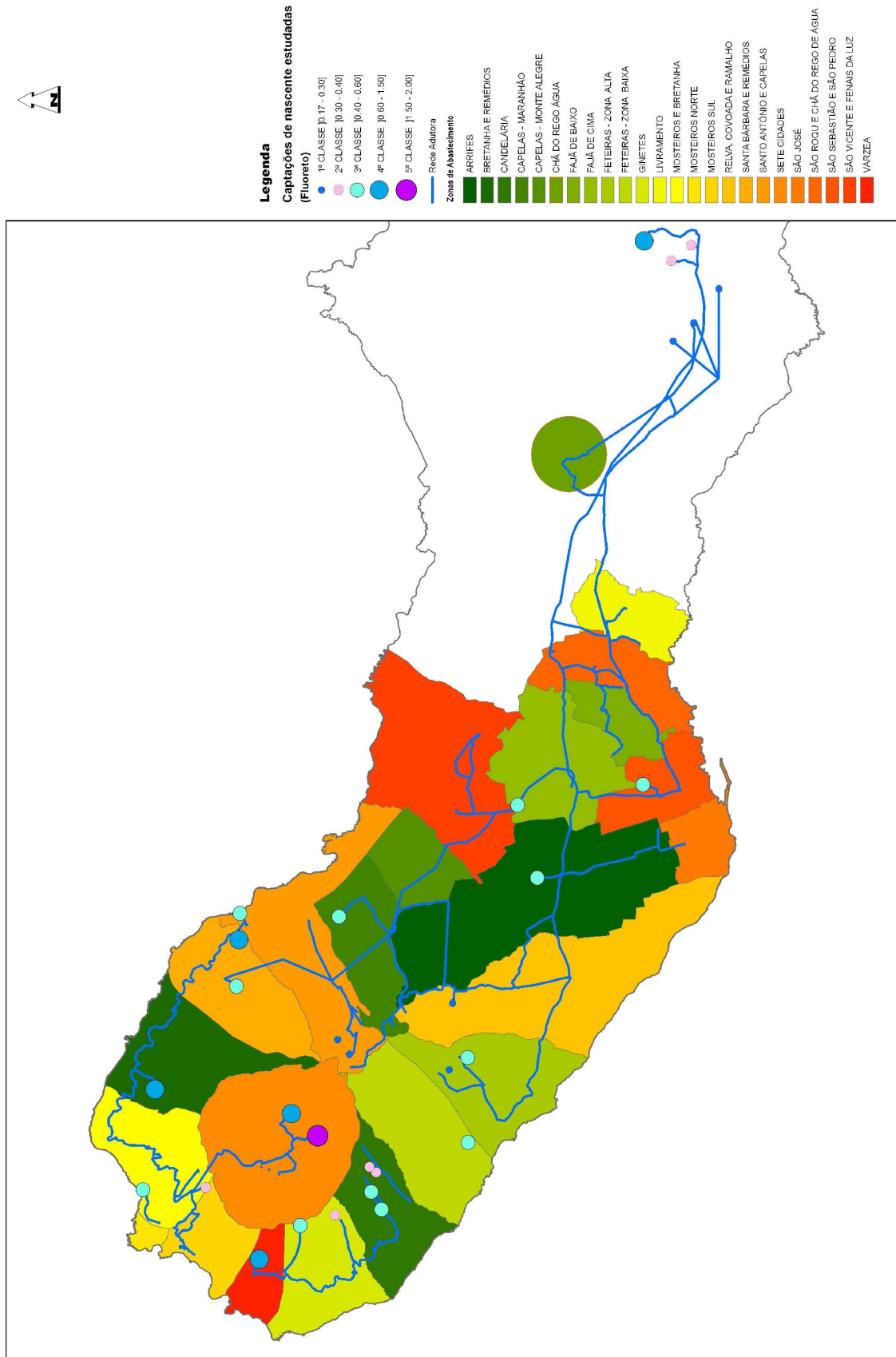


Figura 7.4. Carta temática de perigo de fluoretação das captações.

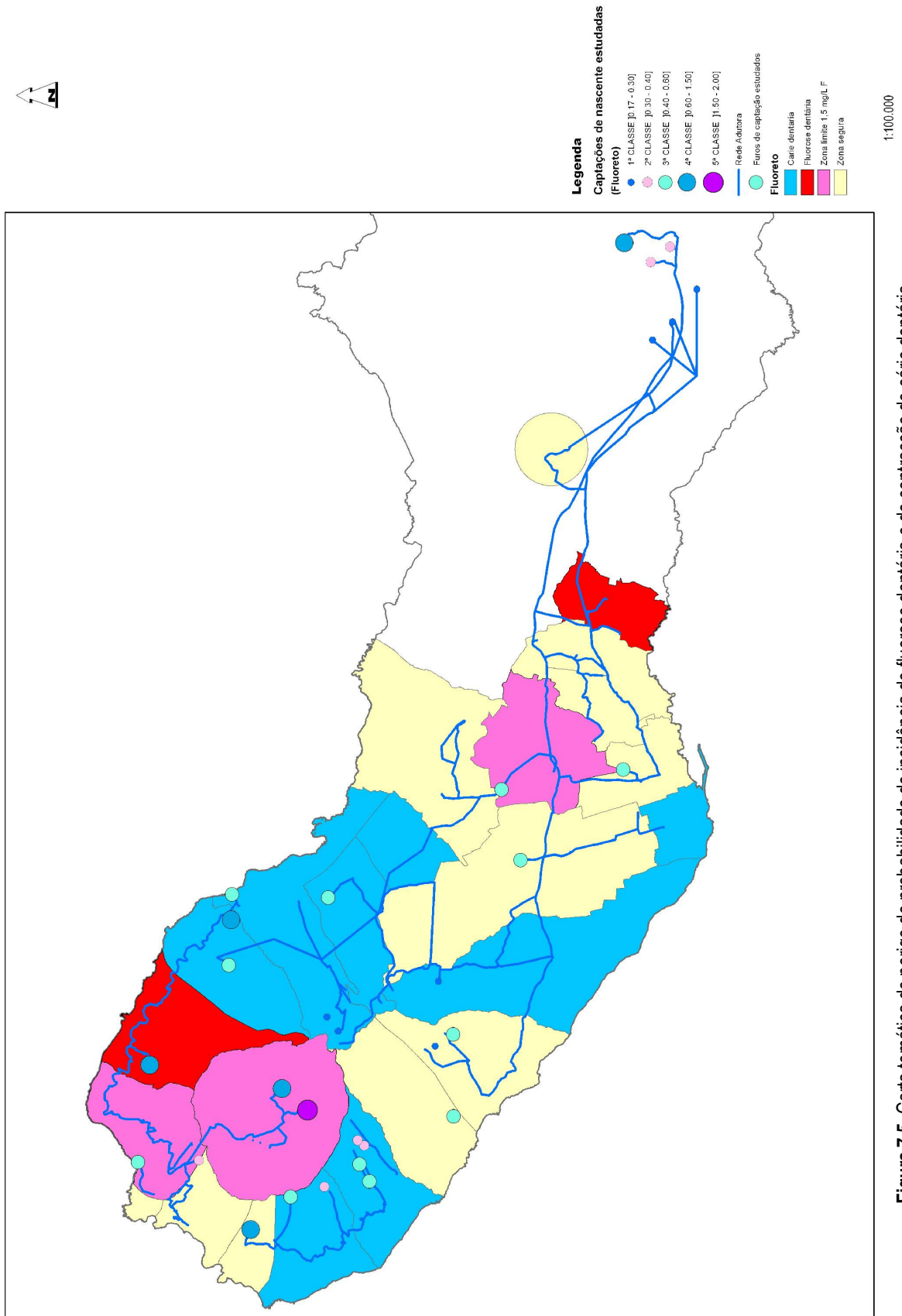


Figura 7.5. Carta temática de perigo de probabilidade de incidência de fluorose dentária e de contração de cárie dentária.

7.4.5 MODELAÇÃO

Atendendo que os SMAS de Ponta Delgada, pretende diminuir o perigo da incidência de fluorose dentária na zona de abastecimento de Bretanha e Remédios e, simultaneamente, diminuir o perigo de contracção de cárie dentária nas zonas de abastecimento de Santa Bárbara e Santo António e Capelas, efectuou-se uma modelação recorrendo à diluição da captação dos Moinhos das Sete Cidades com a captação da Rocha de Santo António.

Para o efeito procedeu-se à modelação hidrogeoquímica deste processo, com o recurso às ferramentas associadas à reacção de mistura do PHREEQC v.2.0 (Parkhurst & Appelo, 1999).

Assim sendo, usaram-se as seguintes misturas (Tabela 7.7):

Tabela 7.7. Dados de entrada para modelação de mistura de águas.

	MIX 1	MIX 2	MIX 3	MIX 4	MIX 5	MIX 6
Moinhos Sete Cidades	100%	80%	60%	40%	20%	0%
Rocha de Santo António	0%	20%	40%	60%	80%	100%

Na Figura 7.6 está representada a evolução da concentração de fluoreto na mistura de águas, destacando-se a zona delimitada como ideal, ou seja, aquela que garante uma concentração em fluoreto superior a 0,5 mg/L e inferior ou igual a 1,0 mg/L, conforme orientações da OMS e objectivos dos SMAS de Ponta Delgada.

A recta produzida é a seguinte:

$$Y = 1,60025.X + 0,400059$$

Onde:

Y – Concentração em fluoreto (mg/L)

X – Percentagem de caudal introduzido pela captação de nascente dos Moinhos

(X – 1) – Percentagem de caudal introduzido pela captação de nascente da Rocha de Santo António.

Na Figura 7.7, representa-se a evolução logarítmica da concentração das diferentes espécies químicas presentes em solução.

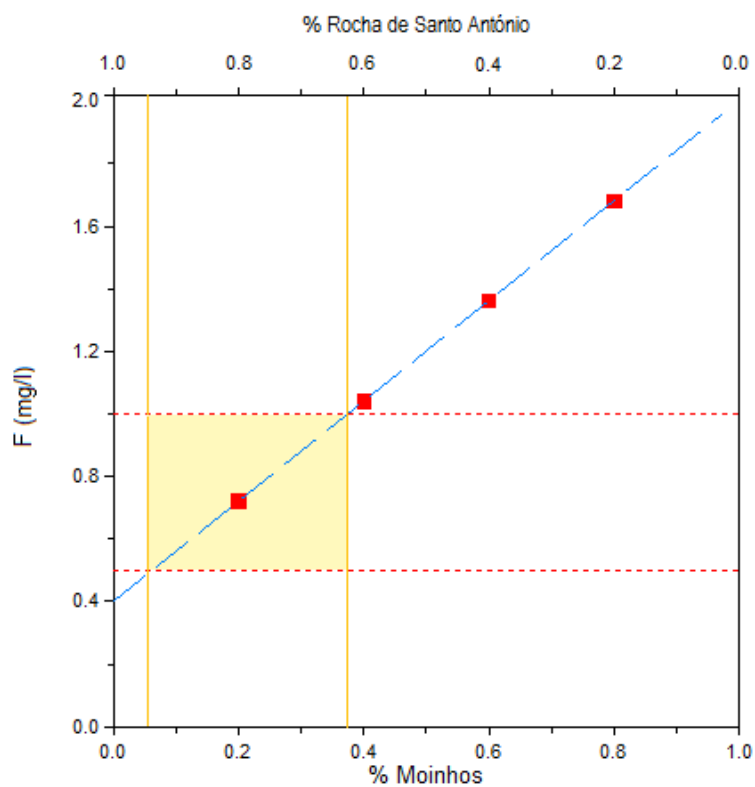


Figura 7.6. Representação da evolução da concentração em fluoreto na mistura de águas.

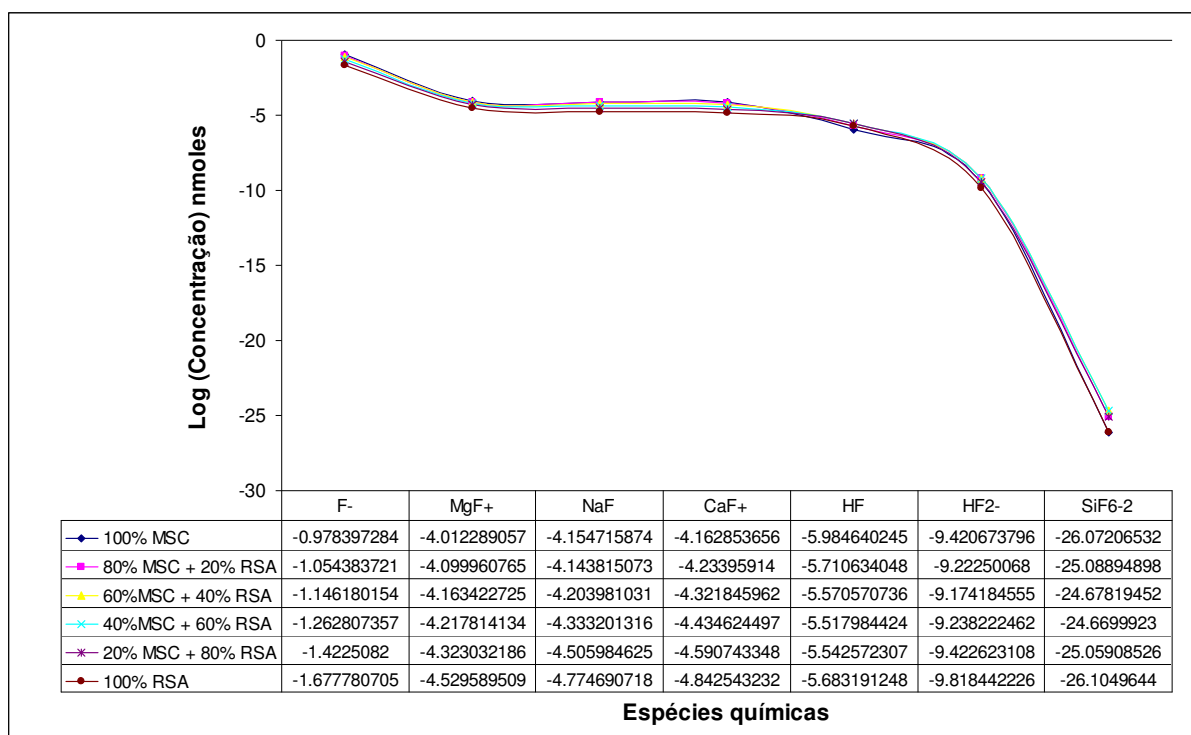
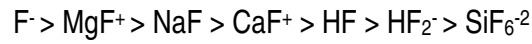


Figura 7.7. Evolução logarítmica da concentração das diferentes espécies químicas presentes em solução.

Destaca-se a predominância do íon F^- em solução após especiação do fluoreto (99,83%). A ordem de predominância é a seguinte:



Na Figura 7.8, apresenta-se a variação das formas mais dominantes para as espécies iônicas pesquisadas nas captações utilizadas em mistura. Veja-se que a espécie predominante, em termos de concentração, é o sódio (Na^+) e, em seguida, o bicarbonato (HCO_3^-).

Dentro das espécies pesquisadas, verifica-se que, para além das formas supramencionadas, as mais comuns são o OH^- , Ca^{2+} , Cl^- , H_2 , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , O_2 , HS^- , SO_4^{2-} , H_4SiO_4 e o F^- .

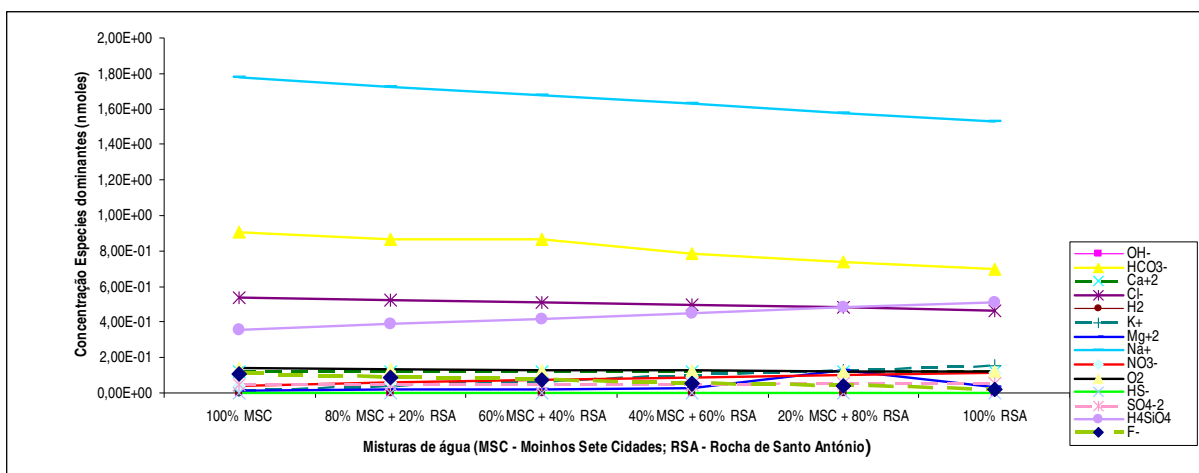


Figura 7.8. Variação das espécies iônicas no gradiente de mistura (foram utilizadas as formas iônicas dominantes).

CAPÍTULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu efectuar uma caracterização hidrogeoquímica das captações exploradas pelos SMAS de Ponta Delgada, com base numa amostragem representativa e a partir das respectivas análises físico-químicas, o que resultou numa ferramenta de gestão para a qualidade da água, nomeadamente no que diz respeito ao controlo da concentração em fluoretos na água distribuída para consumo humano.

A rede de abastecimento de água dos SMAS de Ponta Delgada é alimentada por 45 captações de nascente e por três furos de captação, possuindo uma capacidade de armazenamento de 39×10^3 m³ de água. As zonas de abastecimento cujo registo histórico aponta para a concentração em fluoreto superior a 1,5 mg/L são as zonas de Arrifes, Bretanha e Remédios, Chã do Rego de Água e São Roque, Fajã de Baixo, Fajã de Cima, Mosteiros Sul, Mosteiros e Bretanha, São José, São Vicente e Fenais da Luz, Sete Cidades e pontos de entrega em alta à Lagoa e à Ribeira Grande. Contudo, processos experimentais de mistura de água já permitiram baixar estes valores em algumas destas zonas, como, por exemplo, nos Mosteiros e Bretanha, Sete Cidades e São José.

Foram realizadas 232 amostragens, tendo sido monitorizadas 30 captações de nascente e três furos de captação pertencentes ao sistema de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada, tendo ainda sido feita uma colheita de água nas nascentes do Redondo e da Lobeira, captações localizadas no concelho da Ribeira Quente e conhecidas pela sua elevada concentração em fluoretos, visando a análise comparativa de dados. Das análises efectuadas, o menor valor encontrado de concentração em fluoreto foi de 0,17 mg/L na captação de nascente dos Roçados, enquanto que a concentração mais elevada foi de 2,00 mg/L na captação de nascente dos Moinhos das Sete Cidades. A concentração em fluoreto registada na captação de nascente do Redondo foi de 1,83 mg/L enquanto que na captação de nascente da Lobeira foi de 5,09 mg/L.

O cálculo de índices de saturação para diversos minerais, conjuntamente com a análise comparativa entre as diferentes espécies determinadas em solução, permitiram concluir que as origens de fluoreto

nas águas captadas resultam de processos hidrogeoquímicos relacionados, principalmente, com fenómenos de interacção água-rocha.

Os curtos tempos de residência das águas nos aquíferos conferem uma baixa mineralização às águas subterrâneas, sendo que a presença de fluoretos está relacionada com a presença nas rochas de minerais silicatados com flúor na sua composição. Foi possível discriminar entre enriquecimentos em flúor associados a aumentos do teor em metais alcalino terrosos, em especial em aquíferos basálticos, ou em metais alcalinos, nomeadamente quando a circulação da água subterrânea se verifica em meios aquíferos formados por rochas vulcânicas de carácter ácido. Como exemplo, a nascente dos Moinhos das Sete Cidades, sendo a captação que apresenta maiores concentrações em fluoreto, situa-se sobre um domo traquítico, o que justifica as concentrações encontradas.

Segundo a OMS, valores superiores a 1,5 mg/L conduzem ao aparecimento de fluorose dentária, uma patologia associada ao mosqueamento do esmalte. Por outro lado concentrações inferiores ou iguais a 0,5 mg/L, são potencialmente favoráveis ao aparecimento de cáries dentárias. Para o efeito, a obtenção de cartas de risco de fluoretação para as captações estudadas e de probabilidade tanto de incidência de fluorose dentária como de contracção de cárie dentária para o concelho de Ponta Delgada, permitiram concluir que a captação que oferece maior perigo de fluoretação é a nascente dos Moinhos das Sete Cidades, enquanto que a zona de abastecimento de Bretanha e Remédios é considerada como a zona com maior perigo de incidência de fluorose dentária. Candelária, Capelas – Maranhão, Capelas – Monte Alegre, Ginetes, Relva, Covoada e Ramalho, Santa Bárbara e Remédios, Santo António e Capelas e São José, são as zonas de abastecimento que apresentam maior perigo de contracção de cárie dentária.

A especiação hidrogeoquímica efectuada permitiu concluir que a espécie de fluoreto com maior expressão é o F⁻. Efectuou-se, ainda, a modelação para esta espécie resultante da mistura da água da nascente dos Moinhos das Sete Cidades, responsável pela elevada concentração em fluoreto detectada na zona de abastecimento de Bretanha e Remédios, com a água da nascente da Rocha de Santo António, responsável pela concentração diminuta em fluoreto nas zonas de abastecimento de Santa Bárbara e Remédios e de Santo António e Capelas. O modelo encontrado permite reduzir a

probabilidade de incidência de fluorose dentária na zona de abastecimento de Bretanha e Remédios e, simultaneamente, diminuir a probabilidade de contracção de cárie dentária nas outras duas zonas.

Como medidas de mitigação a aplicar nas restantes situações, onde a concentração em fluoreto se encontra muito próxima do valor paramétrico de 1,5 mg/L, e onde a mistura de águas não é possível, são descritas as tecnologias de desfluoretação, sugerindo-se como o mais adequado à realidade dos SMAS de Ponta Delgada o processo de desfluoretação por contacto, por ser a tecnologia que implica menor complexidade e um menor custo na operação, bem como elevada fiabilidade e facilidade na aquisição dos reagentes. Nesta técnica de desfluoretação não são geradas lamas, sendo que o processo não acarreta custos associados à sua gestão, transporte e deposição.

Sugere-se, como proposta de trabalhos futuros, o alargamento deste estudo a todo o arquipélago dos Açores, de forma a possibilitar a compreensão dos processos hidrogeoquímicos associados a esta região vulcânica, e possibilitando um conhecimento mais alargado da distribuição da concentração em fluoretos em todas as ilhas. O estudo com base na determinação de elementos menores e em traço também seria uma opção enriquecedora em termos de trabalhos próximos, pois possibilitaria a compreensão das relações destes com fluoreto. O uso da modelação inversa aplicado às águas com maior ocorrência de fluoreto, também será uma óptima proposta para trabalhos futuros uma vez que esta modelação poderá permitir a percepção das reacções que estão a ocorrer ao longo do percurso de percolação no solo.

BIBLIOGRAFIA

Alvarinho, S.B., Martinelli, J.R. (2000) - Utilização de alumina para a remoção de fluoretos em águas e efluentes. In: Cerâmica vol.46 n.298 São Paulo Apr./May/June 2000, pp. 104-117.

Alves, T.L. (2006) - Estudo da formação de incrustações inorgânicas em membranas de nanofiltração utilizadas em processos de dessulfatação. Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia do Centro de Tecnologia da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 210 pp.

Antunes, Paulo (2009) – Estudo hidrogeoquímico e vulcanológico de lagos no arquipélago dos Açores: aplicações para a mitigação de riscos naturais. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, especialidade de Hidrogeologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 306pp.

Baxter, P., Baubron, J.C., Coutinho, R. (1999) - Health hazards and disaster potential of ground gas emissions at Furnas volcano, São Miguel, Azores In: Journal of Volcanology and Geothermal Research, Elsevier B.V, Volume 92, Issues 1-2, September 1999, p 95-106.

Cabral, Ricardo; Mont'Alverne, Madalena; Lima, Artur (2005) - Estudo Regional de Prevalência das Doenças orais na População Escolarizada da região Autónoma dos Açores. Saúde Oral Açores. Direcção Regional dos Assuntos Sociais.

Carmo, R. (2004) – Geologia estrutural da região Povoação-Nordeste (ilha de S. Miguel, Açores). Dissertação de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade em Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 121 pp.

Cole, P. D.; Queiroz, G.; Wallenstein, N.; Gaspar, J. L.; Duncan, A. M. e Guest, J. E. (1995) – An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 69, pp. 117-135.

Coutinho, R., Pimentel, A. E Pacheco, J. (2008) – Na Rota dos Vulcões – Guia Geológico da Ilha do Faial. Edição da Secretaria Regional do Ambiente e do Mar e ADELIAÇOR, Dep. Legal 286781/08. 59pp.

Cruz, J.V., (2001) – Recursos Subterrâneos. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores. Relatório Técnico-Científico 03/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, DG/UA, Ponta Delgada, 453pp.

Cruz V., Brito A.G. (2002a) - Planeamento de Recursos Hídricos Subterrâneos no Arquipélago dos Açores (Portugal) e o Impacto da Directiva-Quadro da Água. 11pp.

Cruz V., Brito A.G. (2002b) - Contribuição da hidrogeologia para o planeamento e a gestão sustentável da água no arquipélago dos Açores. In XX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Braga, 16-19 Setembro. 15pp.

Costa, A. (2006) - Atlas Hidrogeológico das águas minerais dos Açores. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 146pp.

Dahi, E. (2009) - Fluorosis Prevention & Defluoridation of Drinking Water in: <http://www.de-fluoride.net/>.

Dahi, E. (2000) - The state of art of small community defluoridation of drinking water in: 3rd International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water. Arusha, Tanzania & Copenhagen, Denmark. 137-167pp.

D'Alessandro, W. (2006) - Human fluorosis related to volcanic activity: a review. In: Environmental Toxicology (Kungolos A.G., Brebbia C.A., Samaras C.P., Popov V. Eds.) WIT Press Southampton, UK, pp. 21-30.

DROTRH – INAG (2001) – Plano Regional da Água. Relatório técnico. Versão para consulta pública. DROTRH-INAG. Ponta Delgada, 414 pp.

EL-Kadi, A.I., Plummer, N., Aggarwal, P. (2010) - NETPATH-WIN: An Interactive User Version of the Mass-Balance Model. NGWA, 7 Pp.

Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J.; Dahi, E., Fewtrell, L., Magara, Y. (2006) - Fluoride in Drinking-water. Who Drinking-water Quality Series. WHO. 134 pp.

Ferreira, D.B. (1980) - Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles centrales de l'archipel des Açores, Centro de Est. Geográficos, Lisboa.

Ferreira, T. (2000) – Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): Vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 226pp.

Fiorucci, A., Soares, M., Cavalheiro, E. (2001) - O conceito de Solução Tampão in Química Nova na Escola, N.º 13, Maio de 2001, pp. 18-21.

Fiorucci, A, Filho, E.B. (2005) - A importância do Oxigénio dissolvido em Ecossistemas Aquáticos in: Química Nova na Escola, N.º 22, Novembro de 2005, pp. 10-16.

Fordyce, F.M., Vrana, K., Zhovinsky, E., Povoroznuk, V., Toth, G., Hope, B.C., Iijinsky, U., Baker, J. (2007) - A health risk assessment for fluoride in: Central Europe. In Environ Geochem Health (2007) 29:pp. 83-102.

Forjaz, V. H. (1984) – Esboço tectónico da região dos Açores. Doc. Interno do Dep. Geociências da Universidade dos Açores, 1 pp.

Forjaz, V.H., Serralheiro, A.; França, Z.; Tavares, J. (2008) - Carta dos Principais Geomonumentos da Ilha de S. Miguel (Açores). Edição n.º 30 do OVGA.

Gaspar, J.L. (1996) - Ilha Graciosa (Açores): História Vulcanológica e Avaliação do Hazard. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 361pp.

Gaspar, J. L., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Pacheco, J. M., Guest, J. E., Duncan A. M. e Cole, P. (1995) – Evolução morfoestrutural do vulcão das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores). Memória n.º4 do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, pp. 999-1003.

Gaspar, J. L., Queiroz, G., Pacheco, J. M., Ferreira, T., Wallenstein, N., Almeida, M. H. e Coutinho, R. (2003) – Basaltic lava balloons produced during the 1998-2001 Serreta Submarine Ridge eruption (Azores). In: Explosive Subaqueous Volcanism (White, J.D.L., Smellie, J.L. e Clague, D.A., Eds.), Geophysical Monograph 140, AGU, Washington D.C., 379 p.

Gonçalves, P. (2006) - Caracterização do Depósito Sete-P11 (Sete Cidades, São Miguel, Açores): Implicações para a História Eruptiva. Dissertação de Mestrado. Universidade dos Açores. 114 p.

Hipólito, A. (2009) - Geologia estrutural da ilha Graciosa. Enquadramento no âmbito da Junção tripla dos Açores. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 155pp.

Kozlowloski, F., Kozlowloski Júnior, V. (2000) - Fluorose dentária é um problema em saúde pública? In: Publicatio UEPG – Biological and Health Sciences. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Vol. 6. N.º 1, pp. 75-87.

Krause, D. (1965) – East and West Azores Fracture-Zones in the North-Atlantic. In: Whittard, W. e Bradshaw, R. (Eds.), Submarine Geology and geophysics. London Butterworths Publ., 163-172.

Krause, D, Watkins, N. (1970) – North Atlantic crustal genesis in the vicinity of the Azores. *Geophys. J. R. Astr.Soc.*, 19, 261-283.

Laughton, A., Whitmarsh, R., Rusby, J., Someres, M., Revie, J., McCartney, B., Nafe, J. (1972) - A continuous Est-West fault on the Azores- Gibraltar Ridge. *Nature*, Vol. 237, **5352**. pp. 217-220.

Machado, F. (1959) – Submarine pits of the Azores plateau. *Bull. Volcanol.*, Série II, XXI, pp. 109-116.

Marques, D (1988) - Levantamento epidemiológico da fluorose e da cárie dentária nos alunos do ciclo preparatório e do ensino secundário do concelho de Povoação, ilha de S. Miguel, Região Autónoma dos Açores. *Act Méd-Dent 1988*, pp. 11-7.

Medeiros, A. (2009) - Base de dados para a divulgação da Geologia dos Açores. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 207pp.

Melo, J (2004) - Os Cones de Saturação nos Sistemas Simplificados de Fluoretação da Água de Abastecimento Público. Associação Brasileira de Odontologia do Distrito Federal. Escola de Aperfeiçoamento Profissional do Distrito Federal, 9pp.

Navarro, A., Fernández-Uría, A., Doblas, J. G. D. (1989) – Las Aguas Subterráneas en España - Estudios de Síntesis. Instituto Tecnológico Geominero de España. 591pp.

Needham, H. & Francheteau, J. (1974) - Some Characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean 36° 48' north. *Earth and Planetary Science Letters* 22, 29 – 43pp

NIDCR [National Institute of Dental and Craniofacial Research] (2008) - The story of Fluoridation. Consultado a 25 de Agosto de 2011, <http://www.nidcr.nih.gov/oralhealth/topics/fluoride/thestoryoffluoridation.htm>.

Nunes, J. C. (1999) - A Actividade Vulcânica na Ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: Mecanismo Eruptivo e Hazard Vulcânico. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores. 357p.

Nunes, J.C. (1991) – Microssismos e neotectónica: contribuição para o seu estudo nos Açores. Dissertação APCC, Univ. Açores, 245pp.

Nunes, J., Forjaz, V.H., Oliveira, C.S. (2004) - Catálogo Sísmico da Região dos Açores, versão 1.0 (1850-1998) in: *SÍSMICA 2004 – 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica*. pp. 349-358.

Pacheco J.M., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J.V., Pimentel, R. Silva, JR.L. Gaspar, J.L.R. e Goulart, C.(2011) - Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores, In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J. C. Kullberg (Eds), Geologia de Portugal, Escolar Editora.

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (1999) - User's guide to PHREEQC (version 2)--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312 pp.

Parkhurst, D.L., and Charlton, S.R. (2008) – NetpathXL - An Excel® interface to the program NETPATH: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A26, 11 pp.

Pinto, M. (2007) - Medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigénio Dissolvido. Serviços Geológico do Brasil. 51pp.

Programa Nacional de Promoção da Saúde Oral (2005) - Texto de apoio “Fluoretos”. Circular normativa n.º 01/DSE, de 18 de Janeiro de 2005. Ministério da Saúde.

Queiroz, G. (1990) - Aspectos Vulcanológicos do Maciço das Sete Cidades. Dissertação PPCI, Centro de Vulcanologia do INIC, Universidade dos Açores, 148 pp.

Queiroz, G. (1997) - Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel Açores): história eruptiva e avaliação do hazard. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 226pp.

Queiroz, G., Gaspar, J. L., Cole, P. D., Guest, J. E.; Wallenstein, N., Duncan, A. M. e Pacheco, J. M. (1995) – Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do Séc. XV. Açoreana, VIII(I), pp. 159-168.

Rajchagool, S., Rajchagool, C. (2000) - On the Standart Setting of fluoride in Water: From Cookbook to Bible. 3rd International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water.Thailand.

Ramires, I., Grec, R., Cattán, L., Moura, P., Lauris, J., Buzalaf, M. (2004) - Avaliação da concentração de fluor e do consumo de água mineral. In: Revista de Saúde pública n.º 38(3), pp. 459-465.

Ricardo, R.P., Madeira, M.A.V., Medina, J.M.B., Marques, M.M. e Shanches Furtado, A.F.A. (1977) – Esboço pedológico da ilha de S.Miguel (Açores). Anais do Inst. Sup. Agronomia 37: pp. 275-385.

Rodrigues, R.J.R. (1995) – Hidrologia de ilhas vulcânicas. Dissertação apresentada a concurso para Investigador Auxiliar, LNEC, Lisboa, 397 pp.

Rodrigues, R. (2005) - Aplicação da técnica GPS ao estudo da deformação dos sistemas vulcano-tectónicos da Ilha Graciosa (Açores). Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 101p.

Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J., Finkelman, R., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P. (2005) - Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. Elsevier, pp. 812.

Simões, M. (2007) - Métodos instrumentais para análise química quantitativa de águas subterrâneas e sua aplicação na caracterização do sistema aquífero cenozóico do baixo Tejo em Almada. Comunicação apresentada no Seminário sobre águas subterrâneas realizado pela Comissão Especializada de Águas Subterrâneas da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa, 1 e 2 de Março de 2007, 11 pp.

Simões, M. (2008) – Métodos cromatográficos, volumétricos e potenciométricos para análise química quantitativa de água subterrânea e sua aplicação no aquífero cenozóico da bacia do Baixo Tejo, Portugal. Centro de Investigação em Ciências e Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. In: Geociências, V. 27, N.º 2, pp. 161-169.

Silva, M. (2005) – Caracterização da sismicidade histórica dos Açores com base na reinterpretação de dados de macrossímica: contribuição para a avaliação do risco sísmico nas ilhas do Grupo Central. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 146 pp.

Silva, R. (2004) - Características da sismicidade na região central da ilha de São Miguel (Açores): Identificação e análise de famílias sísmicas. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 136pp.

Silveira, D. (2002) – Caracterização da sismicidade histórica de ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macrossímica: contribuição para a avaliação do risco sísmico. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências, 149pp.

Susheela, A. e Bhatnagar, M. (2000) - Experiences on Combating Fluorosis Cases in Índia. India. 3rd International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water.

Tylenda, C. (2003) - Toxicological profile of fluorides, hydrogen fluoride, and fluorine (update). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 384pp.

Vaish, A. (2000) - A case study of fluorosis. 3rd International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water. Índia.

Viessman, W.J., Hammer, M.J. (1998) - Water supply and pollution control. Menlo Park: Addison Wesley Longman Inc. 6th Edition, 827 pp.

Wallenstein, N. (1999) - Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do Vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores): avaliação preliminar do hazard. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 266pp.

Weston, F. S. (1964) – List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports. Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências de Lisboa, 10(1), pp. 3-18.

SELMA ANDREA REZENDES CORDEIRO

**MONITORIZAÇÃO DE FLUORETOS NA ÁGUA CAPTADA PARA
CONSUMO HUMANO NO CONCELHO DE PONTA DELGADA
(SÃO MIGUEL – AÇORES)**

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2011**

ANEXO I – FICHA DE CAMPO

Campanha de monitorização: _____ **Mês:** _____

FICHAS DE CAMPO

Nascente _____

Data _____

Hora _____

Clima

Precipitação

Ausente

Oculto

Moderada

Forte

Vento

Fraco

Moderado

Forte

Vegetação montante

Pastagem

Mato

Floresta

Outro

Coordenadas (m):

M

P

Z

Registos *in loco*:

Temperatura - °C

pH -

O₂ Dissolvido - mg/l

CO₂ Dissolvido - mg/l

Condutividade - µS/cm²

Observações:

CAUDAL: _____

Outras informações:

ANEXO II – IDENTIFICAÇÃO DAS CAPTAÇÕES MONITORIZADAS



Figura A1 - Nascente dos Moinhos I (Mosteiros)



Figura A2 - Nascente do Garcia



Figura A3 - Nascente do Espigão Alto



Figura A4 - Nascente do Pico do Faial



Figura A5 - Nascente do Nicolau Maria



Figura A6 - Nascente das Pinguinhas



Figura A7 - Nascente da Mata do Paraíso

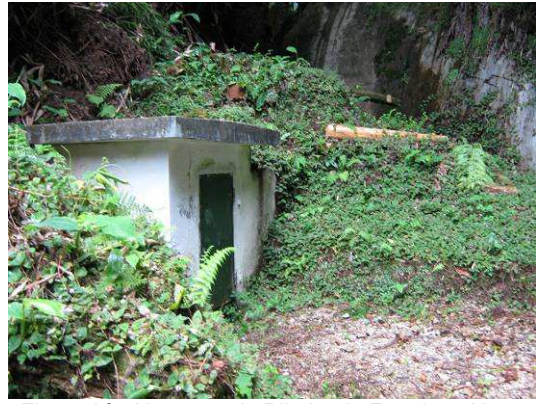


Figura A8 - Nascente da Ribeira do Ferreiro – Norte



Figura A9 - Nascente da Ribeira do Ferreiro – Sul



Figura A10 - Nascente da Chã dos Tanques



Figura A11 - Nascentes do Cerrado da Fonte e do Cerrado da Areia



Figura A12 - Nascente da Água Nova



Figura A13 - Nascente das Pedras Brancas



Figura A14 - Nascente dos Moinhos (Sete Cidades)

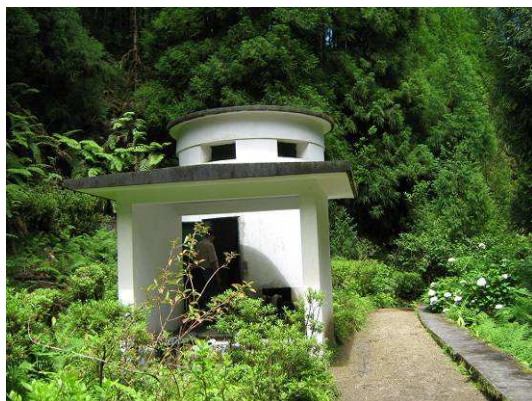


Figura A15 - Nascente do Canário – Poço



Figura A16 - Nascente dos Roçados

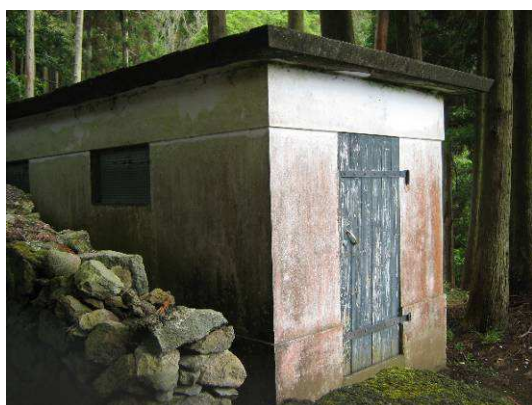


Figura A17 - Nascente da Chã das Fontes



Figura A18 - Nascente da Rocha de Santo António



Figura A19 - Nascente do Couto



Figura A20 - Nascente das Rabaças



Figura A21 - Nascente da Mata dos Lagos



Figura A22 - Furo AC-LC1



Figura A23 - Furo JK2



Figura A24 - Furo JK3



Figura A25 - Nascente das Janelas do Inferno



Figura A26 - Nascente dos Lourinhos II



Figura A27 - Nascente da Grotta do Lanço

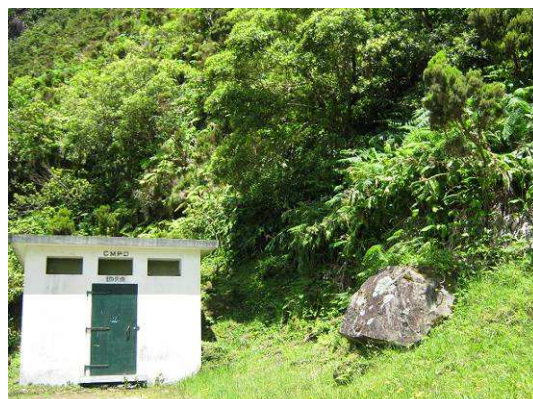


Figura A28 - Nascente da Galeria de Mina



Figura A29 - Nascente da Ribeira dos Passarinhos



Figura A30 - Nascente da Ribeira da Praia – Este

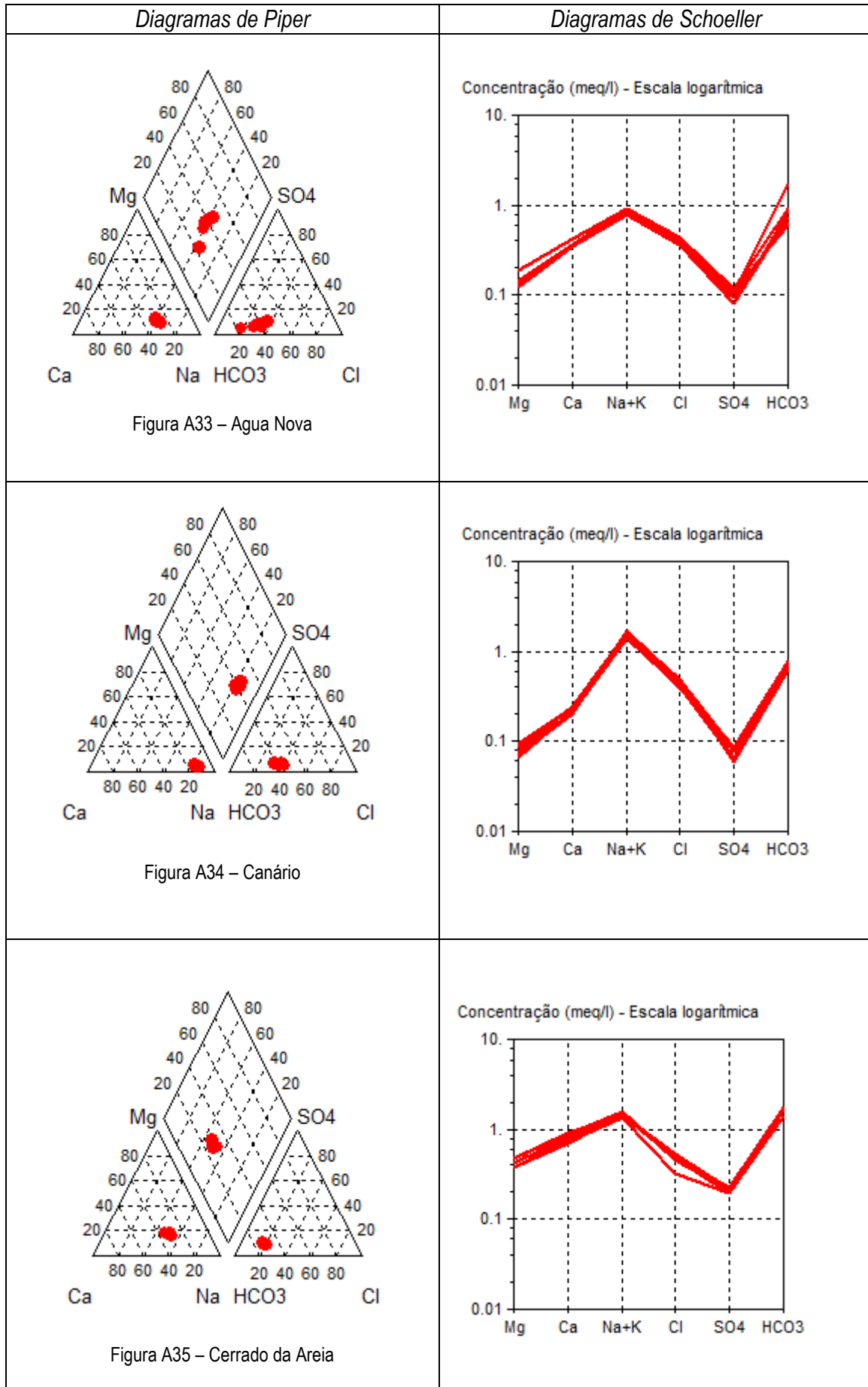


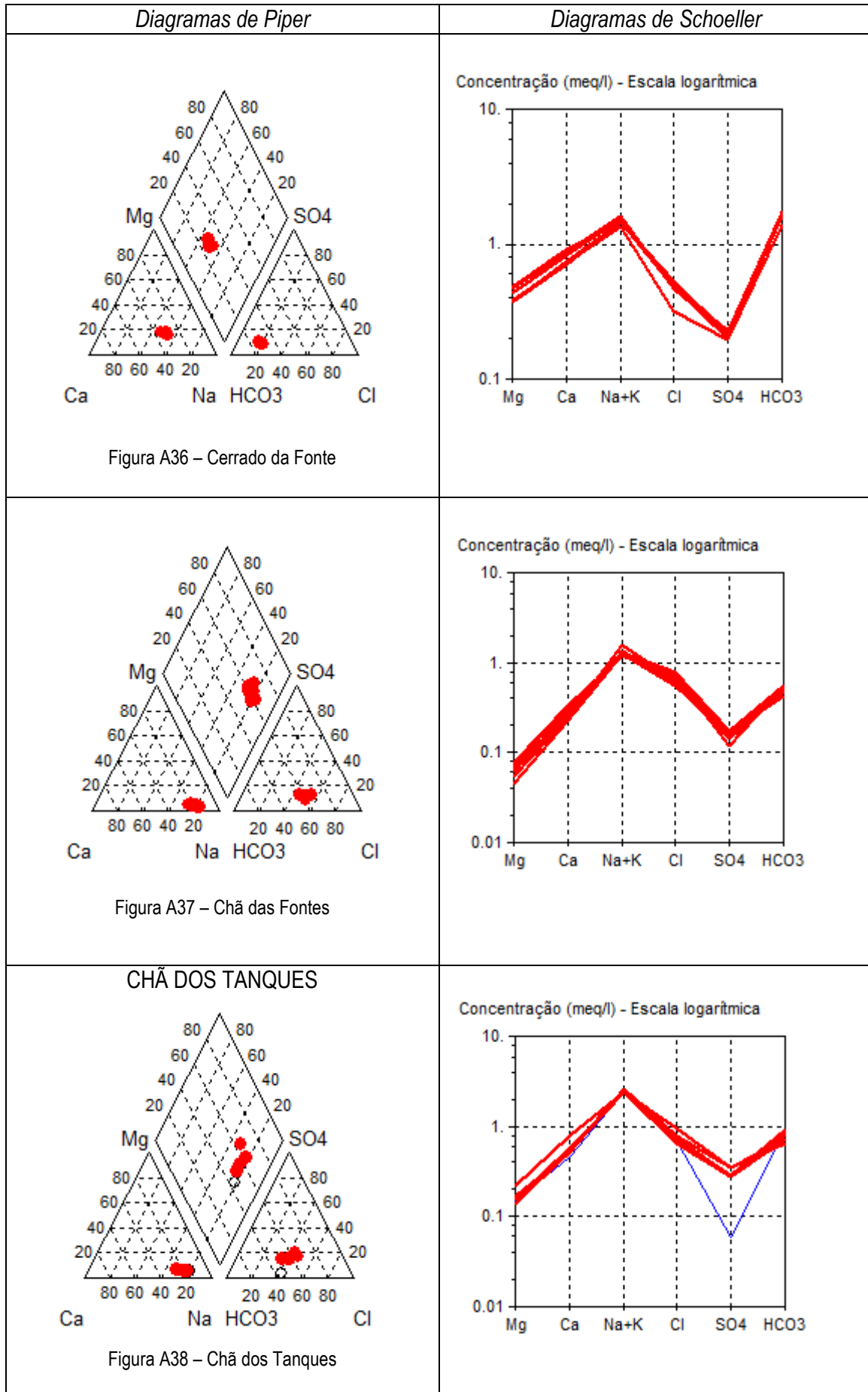
Figura A31 - Nascente da Ribeira da Praia – Vale

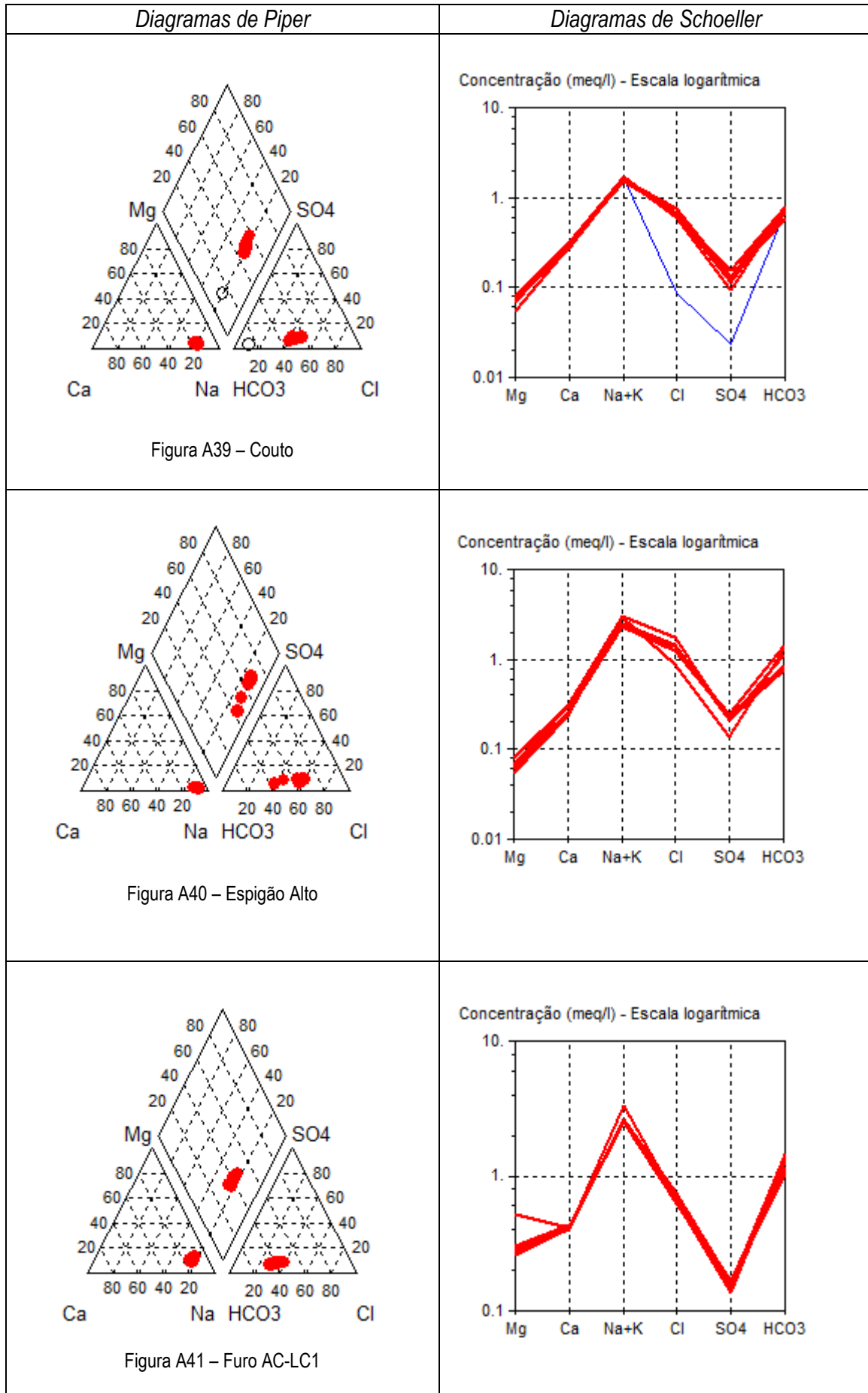


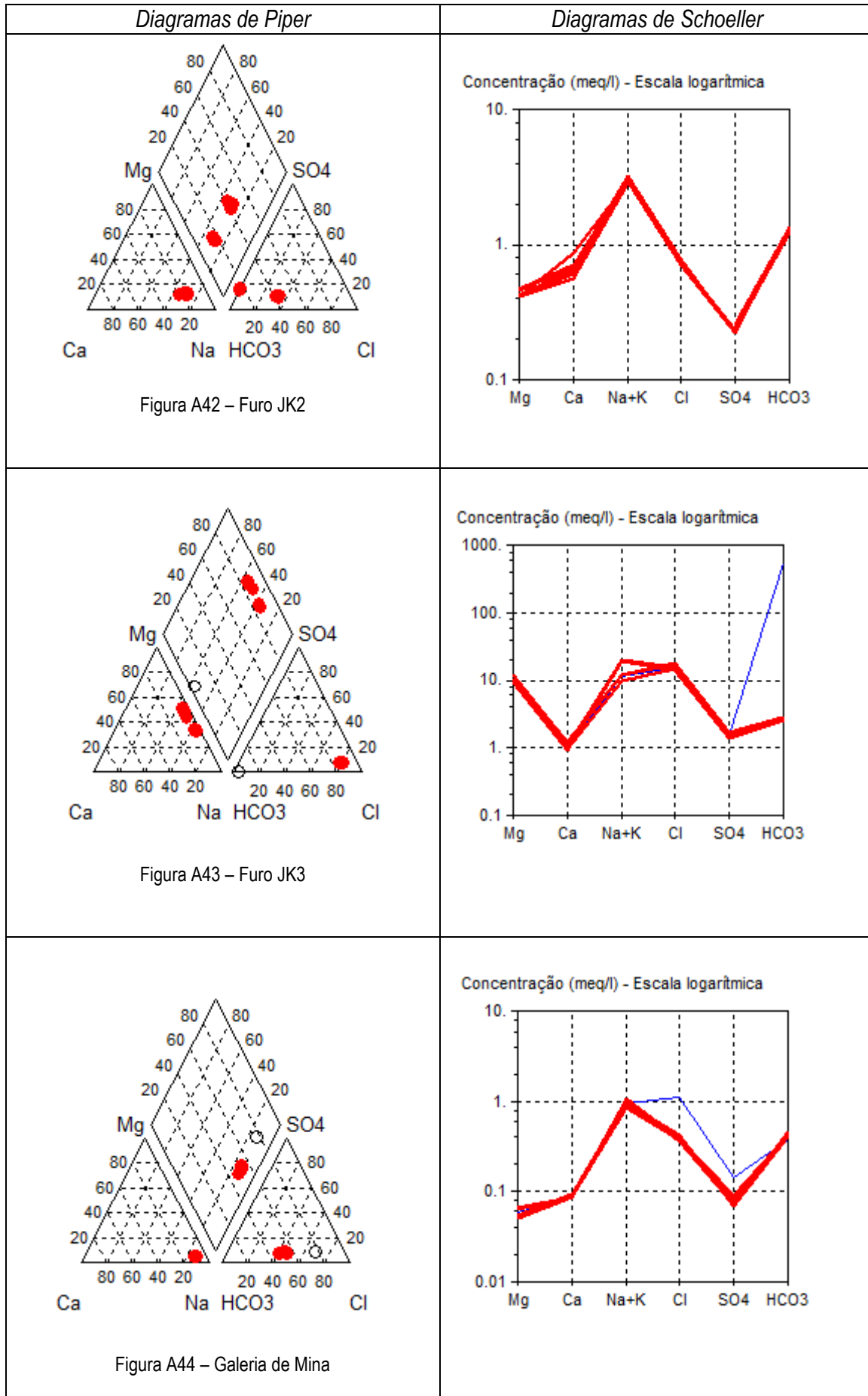
Figura A32 - Nascente da Ribeira da Praia – Oeste

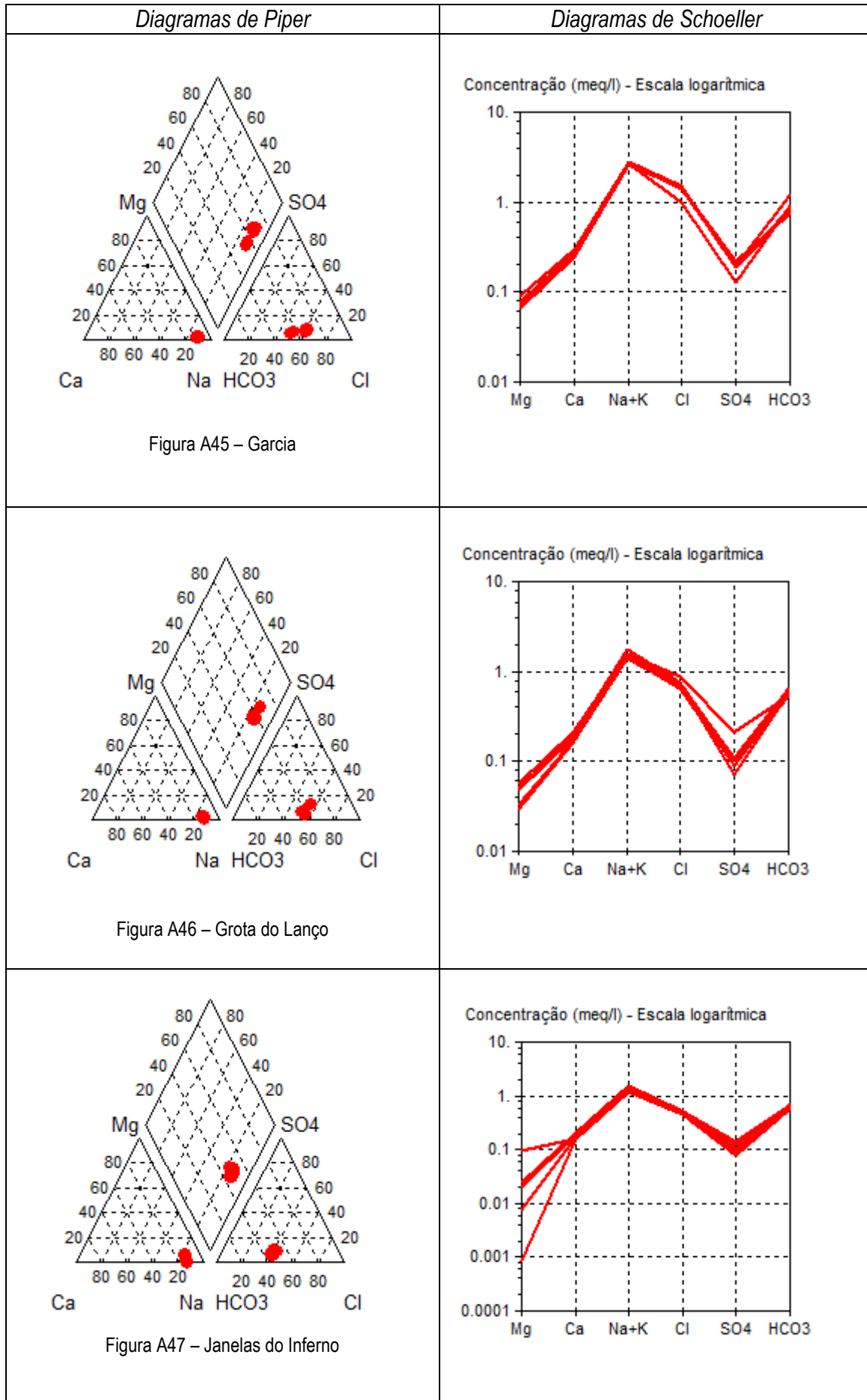
ANEXO III – DIAGRAMAS DE PIPER E DE SCHOELLER

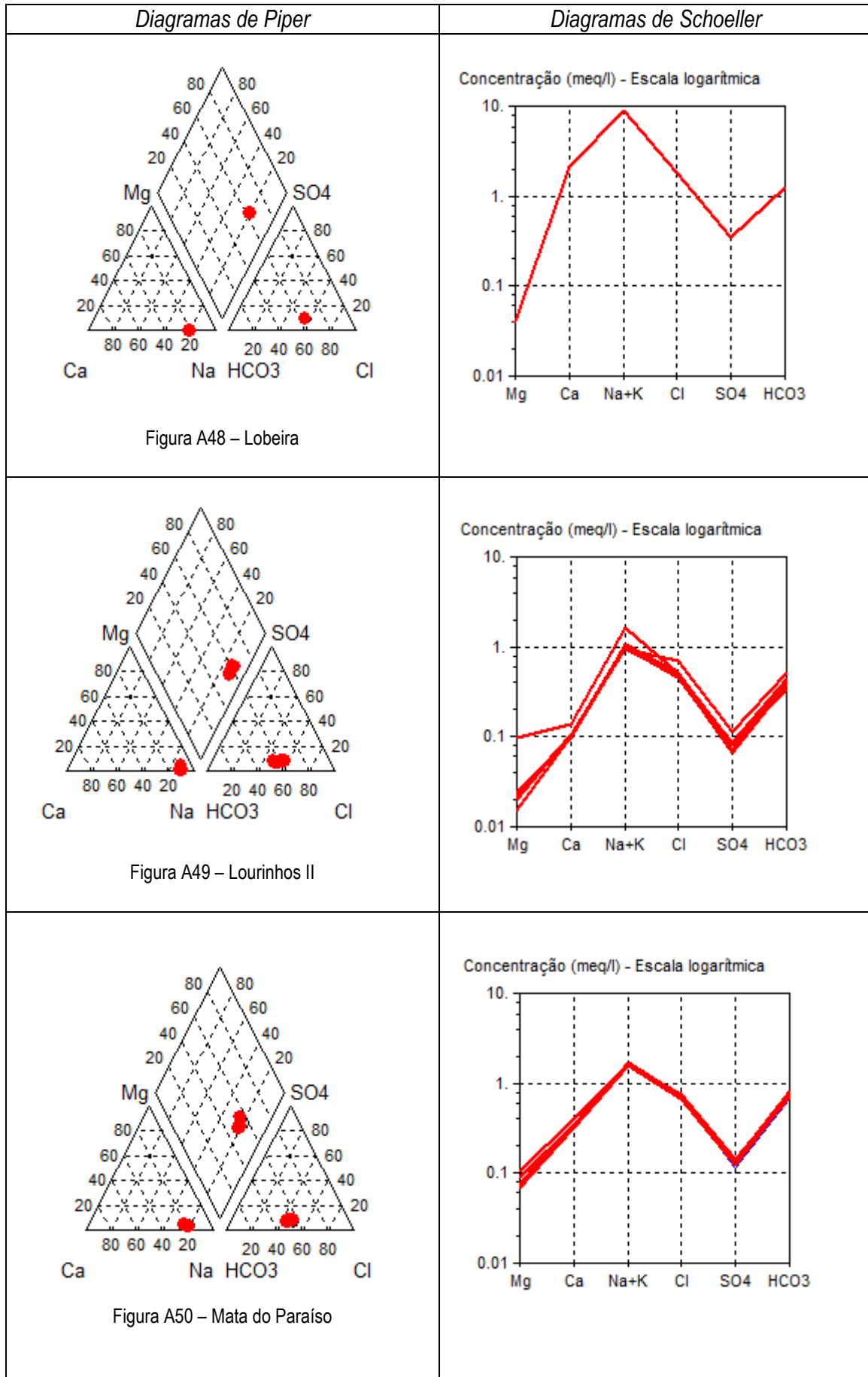


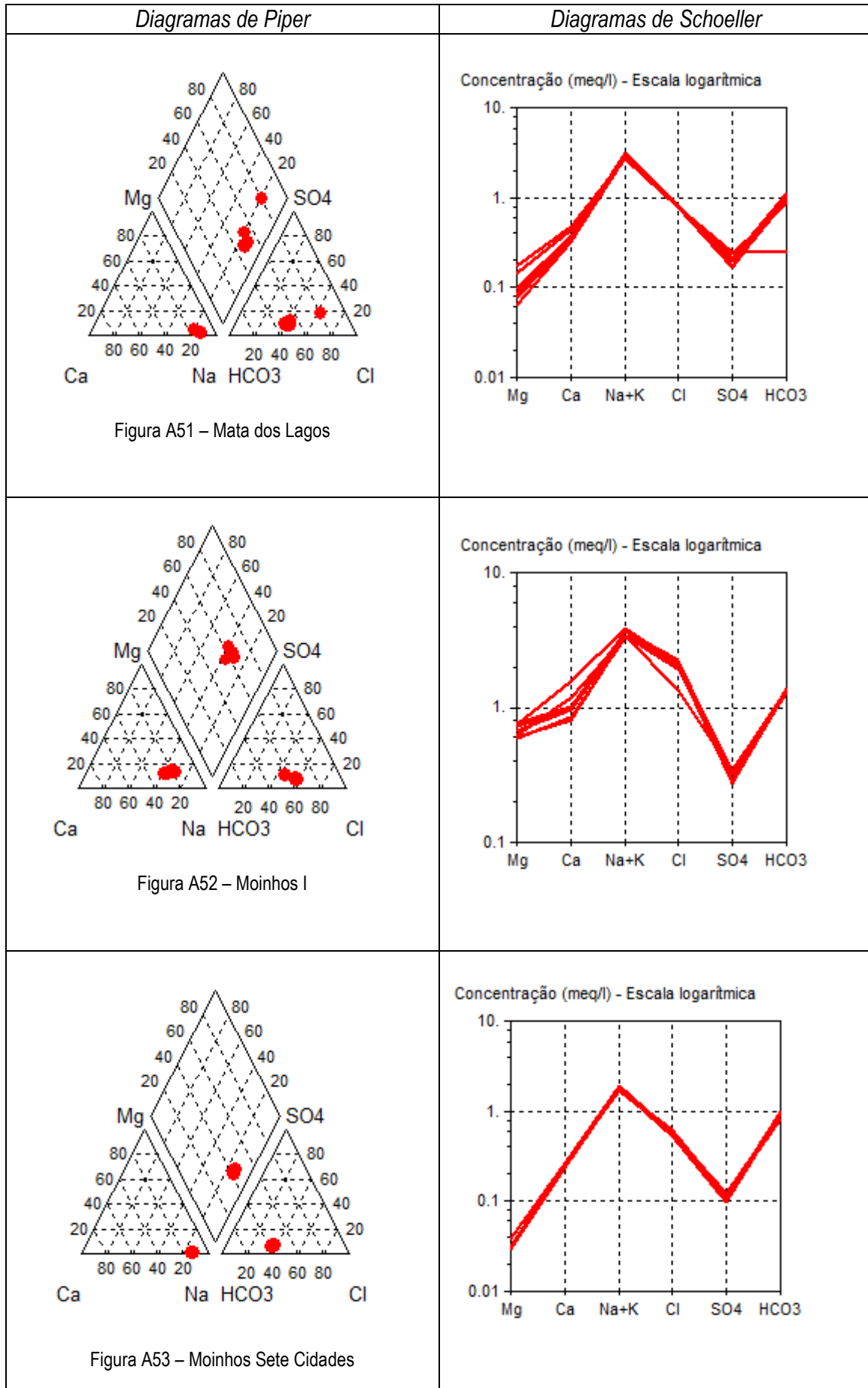


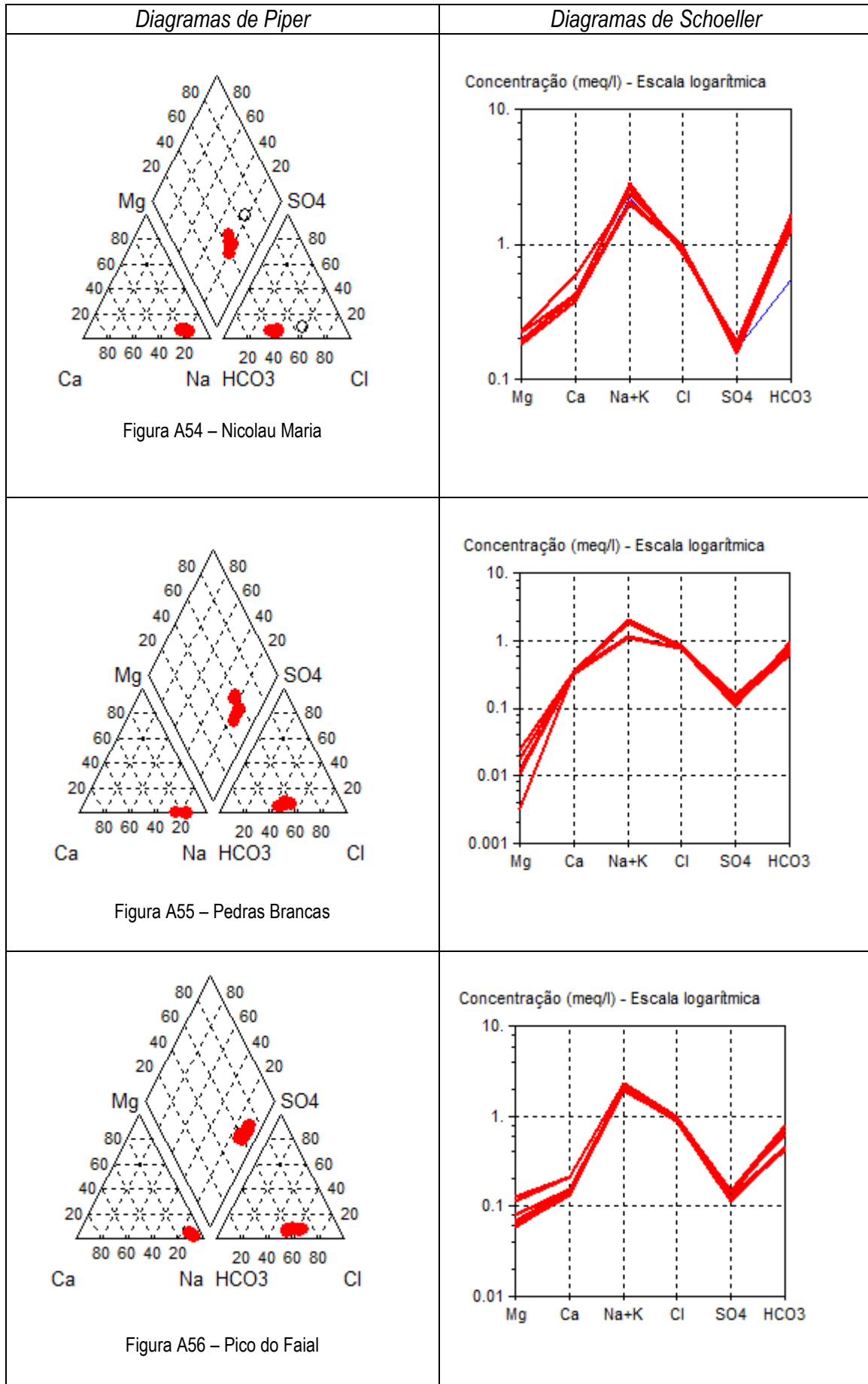


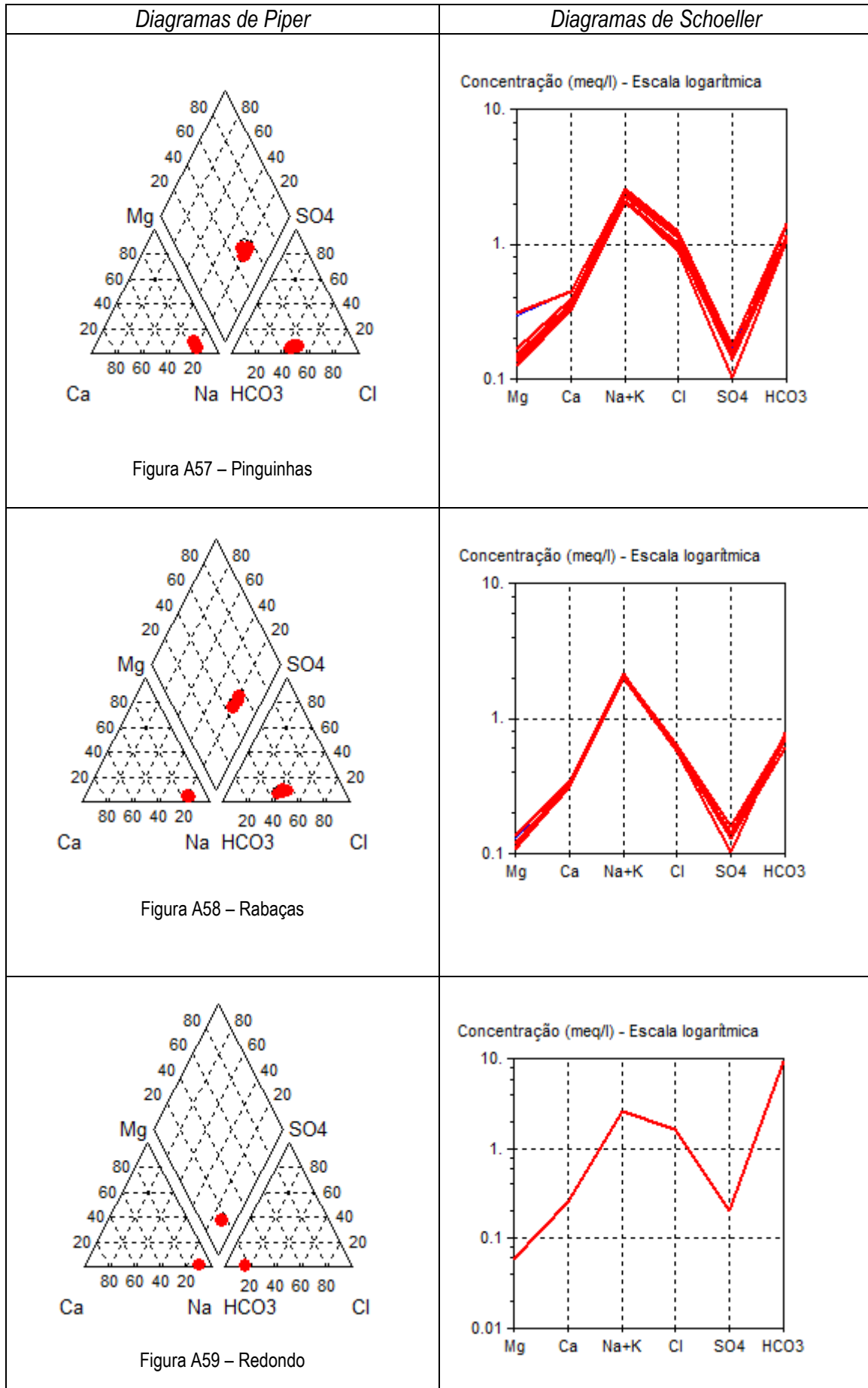


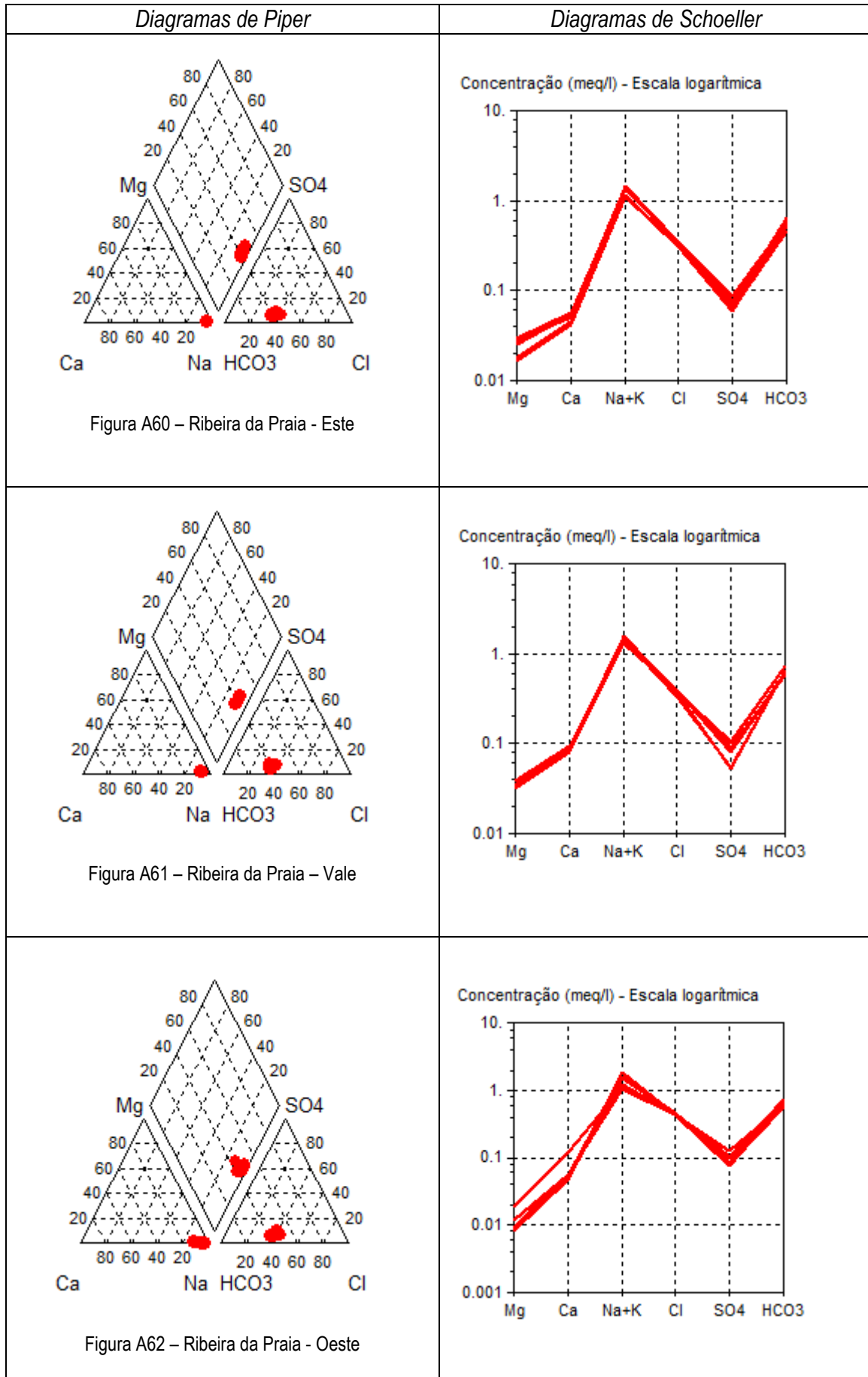


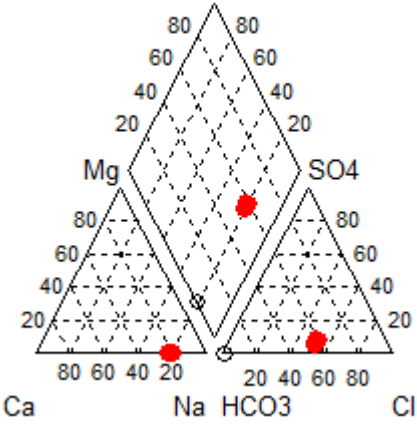
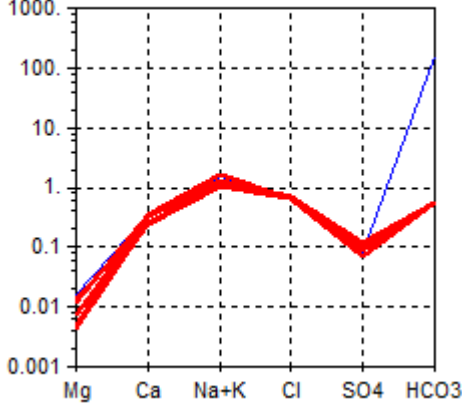
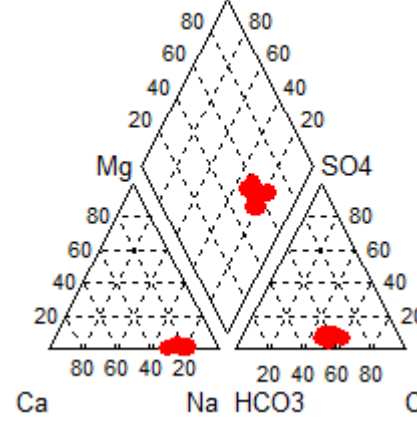
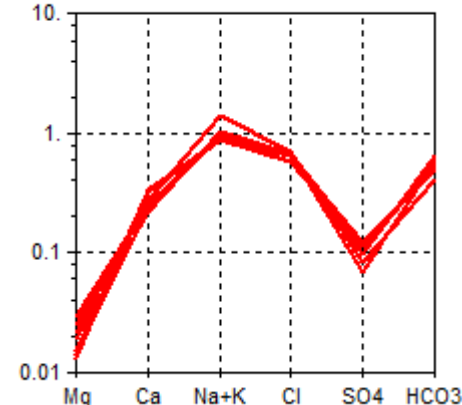
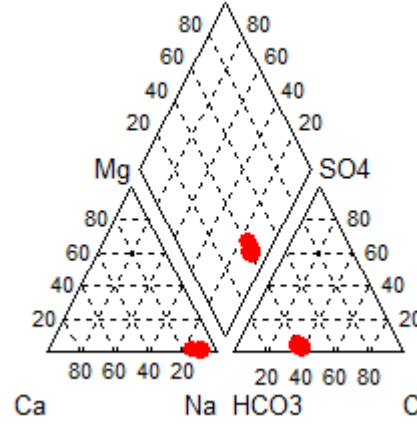










Diagramas de Piper	Diagramas de Schoeller
<p style="text-align: center;">RIBEIRA DO FERREIRO SUL</p>  <p style="text-align: center;">Figura A63 – Ribeira do Ferreiro Sul</p>	<p style="text-align: center;">Concentração (meq/l) - Escala logarítmica</p> 
 <p style="text-align: center;">Figura A64 – Ribeira do Ferreiro Norte</p>	<p style="text-align: center;">Concentração (meq/l) - Escala logarítmica</p> 
 <p style="text-align: center;">Figura A65 – Ribeira dos Passarinhos</p>	<p style="text-align: center;">Concentração (meq/l) - Escala logarítmica</p> 