

António Paulo Gomes da Silva Melo

**Caracterização Geoquímica dos Sedimentos de
Fundo e em Suspensão dos Principais Cursos de
Água na Ilha de São Miguel**



Universidade dos Açores
Departamento de Geociências
2013

António Paulo Gomes da Silva Melo

Caracterização Geoquímica dos Sedimentos de Fundo e em Suspensão dos Principais Cursos de Água na Ilha de São Miguel

DISSERTAÇÃO REALIZADA NO ÂMBITO DO MESTRADO EM
VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS

ORIENTADOR:
PROFESSOR DOUTOR RUI MOREIRA DA SILVA COUTINHO
UNIVERSIDADE DOS AÇORES

CO-ORIENTADOR:
PROFESSOR DOUTOR JOSÉ VIRGÍLIO DE MATOS FIGUEIRA CRUZ
UNIVERSIDADE DOS AÇORES



Universidade dos Açores
Departamento de Geociências
2013

À minha família

*“Todas as verdades são fáceis de entender depois de descobertas,
o difícil é a descoberta”*

Galileo Galilei

Índice

Índice	I
Lista de Figuras.....	IV
Lista de Tabelas.....	X
Agradecimentos	XI
Resumo.....	XII
Abstract.....	XIV
1 – Introdução.....	1
2 – Enquadramento Geológico e Geográfico dos Açores.....	2
2.1 - Enquadramento Geográfico e Geomorfológico	2
2.2 - Tectónica	8
2.3 - Geologia e Vulcanismo.....	10
2.3.1 - Ilha do Corvo.....	11
2.3.2 - Ilha das Flores.....	11
2.3.3 - Ilha de São Jorge	12
2.3.4 - Ilha do Pico	13
2.3.5 - Ilha da Graciosa	13
2.3.6 - Ilha do Faial.....	14
2.3.7 - Ilha da Terceira	14
2.3.8 - Ilha de Santa Maria	15
2.4 - Sismicidade e Vulcanismo Histórico.....	16
2.5 - Hidrologia e Clima.....	18
3 – Enquadramento da Área Estudada	21
3.1 - Localização Geográfica	21
3.2 - Enquadramento Geológico	25
3.2.1 - Tectónica.....	25
3.2.1 - Vulcanismo e Geomorfologia	26

3.2.1 - Petrologia das Áreas Estudadas	28
3.3 - Hidrologia	34
4 – Metodologia.....	37
4.1.1 - Procedimentos Prévios	37
4.1.2 - Trabalho de Campo	37
4.1.3 - Trabalho de Laboratório	39
4.1.3.1 - <i>Determinação de Granulometrias e Identificação dos Sedimentos</i>	39
4.1.3.2 - <i>Análises Laboratoriais Expeditas</i>	40
4.1.3.3 - <i>Análises Laboratoriais Complementares</i>	41
5 – Apresentação e Discussão dos Resultados	43
5.1 - Resultados.....	43
5.1.1 - Parâmetros Físico-químicos e Concentrações Elementares.	43
5.1.2 - Análises Geoquímicas dos Sedimentos	45
5.1.3 - Granulometria	48
5.1.4 - Identificação e Contagem dos Grãos	49
5.2 - Discussão	51
5.2.1 - Parâmetros Físico-químicos e Concentrações Elementares das Amostras de Água.	51
5.2.2 - Granulometria e Identificação dos Grãos	57
5.2.2.1 - <i>Ribeira da Ribeira Grande</i>	57
5.2.2.2 - <i>Ribeira do Guilherme</i>	59
5.2.2.3 - <i>Ribeira da Povoação</i>	59
5.2.2.4 - <i>Ribeira das Furnas</i>	62
5.2.3 - Geoquímica dos Sedimentos	64
5.2.3.1 - <i>Ribeira Grande</i>	65
5.2.3.2 - <i>Ribeira do Guilherme</i>	66
5.2.3.3 - <i>Ribeira da Povoação</i>	67
5.2.3.4 - <i>Ribeira das Furnas</i>	69
5.2.3.5 - <i>Amostras de Sedimentos em Suspensão</i>	70
5.2.3.6 - <i>Elementos Menores e em Traço</i>	71

6 – Considerações Finais	74
Bibliografia	77
ANEXOS.....	83
ANEXO I – Análises Geoquímicas para Elementos Maiores, Menores e em Traço dos Sedimentos de Fundo e Suspensão.....	84
ANEXO II – Identificação Fotográfica das Frações Granulométricas dos Sedimentos de Fundo.....	90
ANEXO III – Registo Fotográfico das Estações de Amostragem.....	123

Lista de Figuras

	Página
Figura 2.1 Localização geográfica dos Açores.	2
Figura 2.2 Carta batimétrica da Plataforma dos Açores (adaptado de Lourenço et al., 1997 <i>in</i> Queiroz, 1990).	3
Figura 2.3 Aspeto do relevo da Ilha do Corvo (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	3
Figura 2.4 Aspeto do relevo da Ilha das Flores (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	4
Figura 2.5 Aspeto do relevo da Ilha do Faial (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	4
Figura 2.6 Aspeto do relevo da Ilha do Pico (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	5
Figura 2.7 Aspeto do relevo da Ilha da Terceira (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	5
Figura 2.8 Aspeto do relevo da Ilha Graciosa (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	6
Figura 2.9 Aspeto do relevo da Ilha de São Jorge (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	6
Figura 2.10 Aspeto do relevo da Ilha de Santa Maria (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	7
Figura 2.11 Aspeto do relevo da Ilha de São Miguel (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).	7
Figura 2.12 Principais estruturas tectónicas da região dos Açores (modificado de Gaspar, 1996).	8
Figura 2.13 Centro de Expansão Oblíqua dos Açores e orientação das tensões principais da região (retirado de Madeira, 1998).	9

Figura 2.14 Plataforma dos Açores, definida pela curva batimétrica dos 2000 metros (adaptado de Needham e Francheteau, 1974, <i>in</i> Queiroz, 1990).	10
Figura 2.15 Distribuição das erupções históricas nos Açores (modificado de Weston, 1964, com dados de Queiroz, 1990 e Queiroz <i>et al.</i> 1995. Imagem do CVARG).	16
Figura 2.16 Carta epicentral referente ao período 1980-2006 (dados do SIVISA, 2006).	17
Figura 2.17 Balanço hidrológico para os Açores (DROTRH-INAG, 2001).	18
Figura 3.1 Localização geográfica de São Miguel. (adaptado de www.cvarg.pt).	21
Figura 3.2 Localização das bacias hidrográficas (BH) dos cursos de água estudados; 1- BH da Ribeira Grande, 2-BH da Ribeira do Guilherme, 3- BH da Ribeira da Povoação, 4- BH da Ribeira das Furnas. Coordenadas U.T.M. da quadrícula 26 S (adaptado de DROTRH-INAG, 2001).	21
Figura 3.3 Aspeto da localização das estações de amostragem no curso de água da Ribeira Grande (adaptado de http://sig.sram.azores.gov.pt/).	22
Figura 3.4 Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira do Guilherme (adaptado de http://sig.sram.azores.gov.pt/).	23
Figura 3.5 Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira da Povoação (adaptado de http://sig.sram.azores.gov.pt/).	24
Figura 3.6 Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira das Furnas (adaptado de http://sig.sram.azores.gov.pt/).	24
Figura 3.7 Principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel (retirado de Queiroz, 1997).	25
Figura 3.8 Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel (adaptado de Zbyszewsky, 1961 <i>in</i> Ferreira, 2000).	26
Figura 3.9 Zonas Vulcânicas definidas por Moore (1991).	28

Figura 3.10 Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água da Ribeira Grande (adaptado de Moore (1991) e http://sig.sram.azores.gov.pt/).	30
Figura 3.11 Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica da ribeira do Guilherme (Nordeste) (adaptado de Moore (1991) e http://sig.sram.azores.gov.pt/).	31
Figura 3.12 Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água da Povoação (adaptado de Moore (1991) e http://sig.sram.azores.gov.pt/).	32
Figura 3.13 Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água das Furnas (adaptado de Moore (1991) e http://sig.sram.azores.gov.pt/).	33
Figura 3.14 Sistemas Aquíferos da ilha de São Miguel (Cruz, 2003).	34
Figura 3.15 Implantação dos cursos de água em São Miguel. Adaptado de http://sig.sram.azores.gov.pt/ .	35
Figura 4.1 Aspetto do ponto de recolha da Estação 3, na zona das Lombadas aquando da segunda campanha.	38
Figura 4.2 Aspetto da torre de peneiros e agitador.	39
Figura 4.3 Aspetto da identificação dos grãos.	40
Figura 4.4 Foto do equipamento de cromatografia iónica, DIONEX ICS-1000, utilizado na análise de aniões.	41
Figura 4.5 Foto do equipamento de absorção atómica, GBC 906 AA, utilizado na análise de catiões.	42
Figura 5.1 Variação da temperatura nos cursos de água estudados.	51
Figura 5.2 Variação da condutividade nos cursos de água estudados.	51
Figura 5.3 Variação do pH nos cursos de água estudados.	52

Figura 5.4 Variação da concentração do CO ₂ .	52
Figura 5.5 Variação da concentração do bicarbonato.	53
Figura 5.6 Variação da concentração do fluoreto.	53
Figura 5.7 Variação da concentração do cloreto.	54
Figura 5.8 Variação da concentração do sulfato.	54
Figura 5.9 Variação da concentração do nitrato.	54
Figura 5.10 Variação da concentração do cálcio.	55
Figura 5.11 Variação da concentração do magnésio.	55
Figura 5.12 Variação da concentração em sílica.	55
Figura 5.13 Variação da concentração do sódio.	56
Figura 5.14 Variação da concentração do potássio.	56
Figura 5.15 Granulometria dos sedimentos da Ribeira Grande.	57
Figura 5.16 Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira Grande.	58
Figura 5.17 Granulometria dos sedimentos da Ribeira do Guilherme.	59
Figura 5.18 Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira do Guilherme.	59
Figura 5.19 Granulometria dos sedimentos da Ribeira da Povoação.	60
Figura 5.20 Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira da Povoação.	61
Figura 5.21 Granulometria dos sedimentos da Ribeira das Furnas.	62

Figura 5.22	Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira das Furnas.	63
Figura 5.23	Variação da concentração de matéria orgânica nos sedimentos.	64
Figura 5.24	Variação do pH dos sedimentos recolhidos.	64
Figura 5.25	Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira Grande.	65
Figura 5.26	Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira Grande.	66
Figura 5.27	Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira do Guilherme.	67
Figura 5.28	Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira do Guilherme.	67
Figura 5.29	Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira da Povoação.	68
Figura 5. 30	Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira da Povoação.	68
Figura 5.31	Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira das Furnas.	69
Figura 5.32	Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira das Furnas.	69
Figura 5.33	Comparação da concentração em sílica, alumínio e ferro para as amostras de material em suspensão.	70
Figura 5.34	Comparação da concentração do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo no material em suspensão recolhido.	70
Figura 5.35	Concentração média em ppm do vanádio, bário, estrôncio, zircônio e cromo nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.	71

Figura 5.36 Concentração média em ppm do níquel, rubídio, nióbio, lantânio, cério e neodímio nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.	72
Figura 5.37 Concentração média em ppm do cobalto, cobre, praseodímio, háfnio, tório, tântalo e chumbo nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.	72
Figura 5.38 Concentração média em ppm do cério, európio e urânio nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.	72

Lista de Tabelas

	Página
Tabela 2.1 Idade máxima das rochas subaéreas estudadas em cada ilha (várias fontes).	10
Tabela 3.1 Coordenadas UTM das estações de amostragem seleccionadas.	22
Tabela 5.1 Características químicas fundamentais das águas da Ribeira Grande e Ribeira do Guilherme (n.a.- não amostrada, n.d.- não detectado).	43
Tabela 5.2 Características químicas fundamentais das águas da Ribeira da Povoação e Ribeira das Furnas(n.d.- não detectado).	44
Tabela 5.3 Conteúdo em matéria orgânica e pH das amostras de sedimentos.	45
Tabela 5.4 Concentrações percentuais de elementos maiores, dos sedimentos recolhidos na foz de cada ribeira e do material em suspensão (n.d.- não detectado).	46
Tabela 5.5 Concentrações dos elementos menores em ppm, relativas às amostras de sedimentos recolhidos na foz das ribeiras e do material em suspensão.	47
Tabela 5.6 Peso das frações granulométricas das amostras de sedimentos (g).	48
Tabela 5.7 Identificação e contagem dos grãos na R. Grande e na Ribeira do Guilherme.	49
Tabela 5.8 Identificação e contagem dos grãos na Ribeira da Povoação e Ribeira das Furnas.	50
Tabela 5.9 Excerto da análise da água da Ribeira das Furnas efectuada por Cruz et al. (1999). Valores em mg/L.	56

Agradecimentos

Venho por este meio agradecer ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores pela sua contribuição para a criação e funcionamento deste curso.

Agradeço ainda ao Doutor Nicolau Wallenstein, por ter sido o seu coordenador e principal responsável, assim como aos vários professores por terem transmitido o seu saber.

Sem mais demoras exprimo aqui ainda os meus sentidos agradecimentos aos seguintes:

- Doutor Rui Coutinho e Doutor José Virgílio Cruz, por terem sido mais do que bons orientadores, bons amigos.
- Aos meus amigos e amigas, Irina, Letícia, Joana Nava, Mónica, Joana Pacheco, Filipe, Diana, Carlos, Vera e Jeremias, companheiros desta viagem.
- Ao indispensável Rui Mestre.
- Aos meus outros amigos do CVARG e Universidade.
- À minha família, e às outras pessoas que ocupam o lugar central da minha mente e coração.

Resumo

O primeiro objectivo de um estudo geoquímico é a determinação da abundância relativa e/ou absoluta das várias espécies químicas presentes num dado meio. A partir destes estudos iniciais, pretende caracterizar processos químicos e geológicos, numa tentativa final de modelação dos sistemas.

A caracterização geoquímica das rochas no arquipélago dos Açores já foi alvo de numerosos estudos, processo indispensável para o conhecimento existente. Com o presente trabalho, pretende-se estudar a composição geoquímica dos sedimentos em suspensão e de fundo, frutos da erosão física e química dos solos e rochas causada pelos cursos de água, de forma a estabelecer comparações entre as características geológicas das bacias hidrográficas envolvidas e identificar os processos geoquímicos subjacentes.

Com este objetivo em mente, recolheram-se 11 amostras de sedimentos de fundo ao longo dos quatro principais cursos de água de São Miguel. Também se recolheram amostras de água para análise química e estudo dos sedimentos em suspensão. Com base nesta amostragem foi possível determinar a assinatura geoquímica dos sedimentos das quatro ribeiras estudadas, com variação apreciável nos elementos maiores de acordo com a bacia (valores máximos de sílica e potássio na Ribeira Grande, e de ferro, magnésio e cálcio na Ribeira do Guilherme), e a proximidade das concentrações da maioria dos elementos menores e em traço entre as estações da mesma ribeira.

A identificação dos sedimentos após tratamento granulométrico apresenta uma correlação clara com as análises geoquímicas. Com efeito, quer as fases minerais identificadas, quer os líticos, são compatíveis com as análises geoquímicas e as progressivas variações litológicas ao longo do curso de água.

A caracterização geoquímica dos sedimentos em suspensão das ribeiras mostrou que, para as quatro amostras estudadas, as concentrações dos diversos elementos apresentam maiores semelhanças entre si do que propriamente aos sedimentos de fundo correspondentes. A natureza geoquímica das partículas analisadas parece depender mais das argilas e solos das bacias correspondentes, do que do tipo de rochas.

Relativamente à composição química das águas correntes, esta varia de uma forma coerente ao longo do curso de água e entre as quatro ribeiras estudadas. Todas as águas, com excepção das recolhidas na Ribeira do Guilherme e Ribeira da Povoação, pertencem à fácies bicarbonatada sódica. As restantes apresentam valores de sódio, cálcio e magnésio que as colocam nos tipos intermédios de águas bicarbonatadas calco-sódicas, bicarbonatadas sódico-cálcicas e bicarbonatadas sódico-cálcico-magnesianas.

Os valores médios obtidos para a condutividade mostraram-se semelhantes para as ribeiras da Ribeira Grande e Furnas, respectivamente 383 e 349 $\mu\text{s}/\text{cm}$. A condutividade média na ribeira da Povoação e do Guilherme, foi

respetivamente 209 e 104 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (apenas uma análise para a ribeira do Guilherme). O pH e a temperatura revelaram alguma variação entre estações da mesma Ribeira, com valores entre os 5,2 e 8,97 para o pH e temperaturas entre os 15,4 e 25,6°C.

O estudo efetuado permitiu concluir que as características geoquímicas estão de acordo com o conhecimento geológico existente para as áreas selecionadas. Pontualmente, há ainda características reconhecíveis como resultantes da influência das manifestações do vulcanismo secundário.

Palavras Chave: Geoquímica, sedimentos em suspensão e de fundo, composição da água, vulcanismo, São Miguel.

Abstract

The first goal of the majority of the geochemical studies is the determination of the relative/absolute abundance of various chemical species in the systems. From these initial studies, it strives to dissect geological and chemical processes, in an ultimate attempt of modelling the identified systems.

The geochemical study of rocks in the Azores has already been profusely applied, revealing to be of inestimable use for the existing knowledge. This work aims to study the geochemical composition of the suspension and riverbed sediments, produced by the chemical and physical erosion of soils and rocks by the river, to establish comparisons between the geological characteristics of the watersheds, and identify the underlying geochemical processes.

With this objective in mind, 11 riverbed sediment samples were gathered, on selected locations along the four main rivers of São Miguel island. River waters were also sampled for chemical analysis and study of the sediments in suspension. From this data it was possible to ascertain a geochemical signature for the sediments from the four studied streams, showing appreciable variation in major elements concentration in regard to the watershed (maximum silica and potassium content in the Ribeira Grande riverbed sediments and maximum values of iron, magnesium and calcium in the Ribeira do Guilherme sediments), alongside an apparent consistency of the concentrations for minor and trace elements between different gathering stations of the same river.

The identification of the sediments, after granulometric treatment, showed to be consistent with the geochemical analysis. In fact, the identified mineral phases and lithic assemblages are compatible with both the geochemical data and the lithology variation along the river.

The geochemical study of the suspension sediments revealed, from the four gathered samples, a strong similarity, closer between themselves than to the corresponding riverbed sediments. Their geochemical nature seems to be more dependant of soil and clay material from the basins that from the rock types.

In regard to the chemical composition of the river waters, it showed a coherent variation along the river stream, and between the four studied rivers. With the exception of Ribeira do Guilherme and Ribeira da Povoação, all waters showed to be of the bicarbonate sodium type. The exceptions exhibited relative concentrations of sodium, calcium and magnesium compatible to the intermediate types, bicarbonate calcium-sodium, bicarbonate sodium-calcium and bicarbonate sodium-calcium-magnesian waters.

The average electric conductivity values were similar for Furnas and Ribeira Grande rivers, respectively equal to 383 and 349 $\mu\text{s}/\text{cm}$. The same average values for Povoação and Guilherme rivers were respectively 209 and 104 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (only one sample from Ribeira do Guilherme). The pH and temperature showed a reasonable variation, even between sampling stations of the same river, with

values ranging between 5,2 to 8,97 on pH and temperatures from 15,4 to 25,6 °C.

These various studies resulted in the conclusion that the geochemical characteristics are consistent with the existing geologic knowledge for the studied areas. On some cases, evidences of the influence of secondary volcanic activity manifestations are perceptible.

Keywords: Geochemistry, suspension and riverbed sediments, water composition, volcanism, São Miguel.

1 – Introdução

Entre os anos 2010 e 2012, o Departamento de Geociências da Universidade dos Açores através do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, foi responsável pela VI edição do Mestrado de Vulcanologia e Riscos Geológicos.

Na sequência desse período formativo foi proposto e aceite um trabalho com a finalidade de dissertação de mestrado subordinada ao tema “Caracterização Geoquímica dos Sedimentos de Fundo e em Suspensão dos Principais Cursos de Água na Ilha de São Miguel”.

A maioria do conhecimento geológico faz-se com pequenas contribuições e avanços, de uma forma algo semelhante ao crescimento orgânico de uma árvore. Cada pequeno trabalho tem um valor intrínseco de pretender contribuir para algo maior, testemunhando a interligação de todas as partes do conhecimento geológico.

Este trabalho enquadra-se especialmente na interligação entre a geoquímica dos sedimentos, hidrogeologia e a geologia geral das áreas. De que forma as várias características geológicas contribuem para um conjunto de diferenças ou semelhanças na geoquímica dos sedimentos dos cursos de água. São estes um reflexo fiel da geologia da bacia hidrográfica e, se o são, de que maneira.

Relativamente à estrutura a dissertação está dividida em seis capítulos principais. Na Introdução procede-se ao enquadramento, definição dos objetivos do trabalho, assim como à explanação da sua estrutura.

O segundo capítulo consiste no Enquadramento Geológico e Geográfico dos Açores, que inclui um enquadramento geográfico e geomorfológico, uma abordagem geral da tectónica, geologia, sismicidade e vulcanismo históricos e hidrologia e clima.

O terceiro capítulo, Enquadramento da Área Estudada, aborda especificamente São Miguel e mais pormenorizadamente a área das bacias hidrográficas, a que pertencem os cursos de água estudados. Conta com a localização geográfica, o enquadramento geológico e a hidrologia.

Segue-se o capítulo Metodologia, onde são explicados os procedimentos efectuados. No quinto capítulo, Apresentação e Discussão dos Resultados, é feita a exposição, tratamento e interpretação dos resultados.

No sexto capítulo, Considerações Finais, são feitas as conclusões quanto ao trabalho efectuado.

2 – Enquadramento Geológico e Geográfico dos Açores

2.1 - Enquadramento Geográfico e Geomorfológico

O arquipélago dos Açores localiza-se no Atlântico norte. É constituído por nove ilhas e vários ilhéus, divididas por três grupos alinhados numa faixa de orientação NW-SE ao longo de 600 km (Fig. 2.1). O Grupo Ocidental é constituído pelas ilhas do Corvo e Flores, o Grupo Central inclui as ilhas do Pico, Faial, São Jorge, Graciosa e Terceira, o Grupo Oriental reúne as ilhas de Santa Maria e São Miguel.

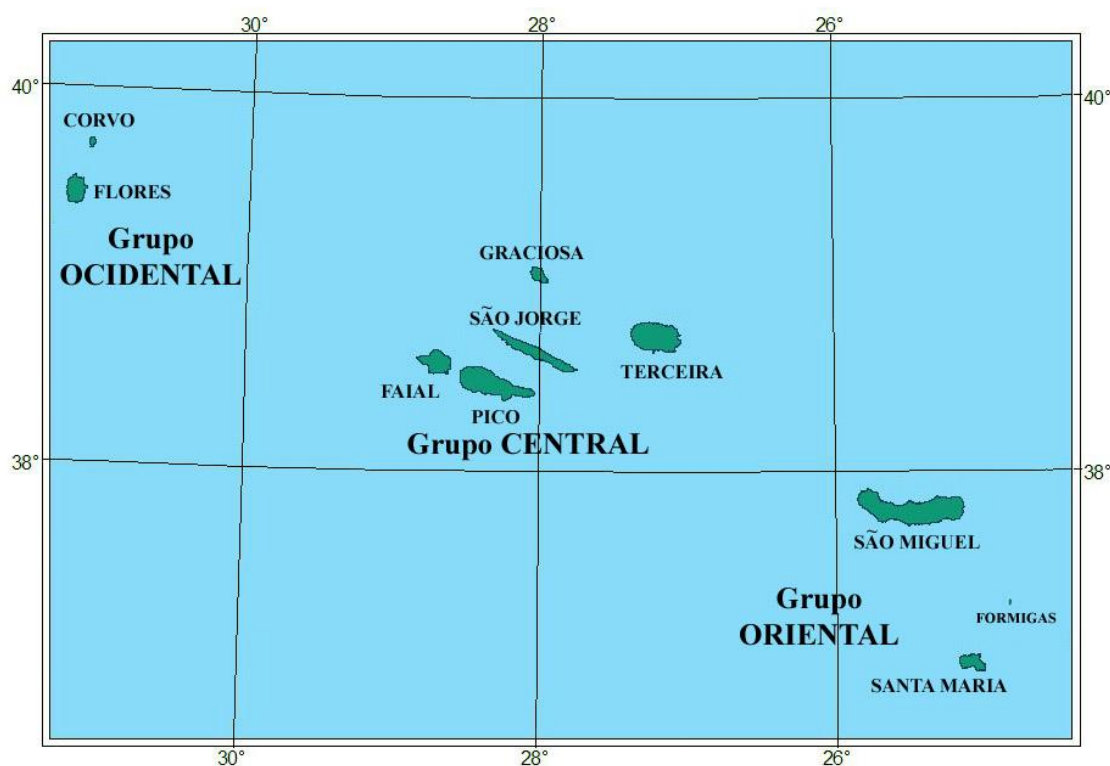


Figura 2.1 - Localização geográfica dos Açores.

As latitudes limite do arquipélago são: a norte, a ilha do Corvo a 39° 43' N e, a sul, em Santa Maria 36° 55' N. As longitudes extremas são a leste 24° 46' W e, a oeste, 31° 16' W, no Ilhéu de Monchique da ilha das Flores.

A área total dos Açores atinge cerca de 2322 km², dos quais 744,6 km² correspondem a São Miguel, a ilha mais extensa. Esta ilha dispõe-se sensivelmente segundo uma orientação E-W, ao longo 66 km, com uma largura máxima de 16 km.

A extensa plataforma circundante às ilhas apresenta uma multiplicidade de relevos que inclui desde montes vulcânicos submarinos, vales, elevações e depressões tectónicas (Fig. 2.2).

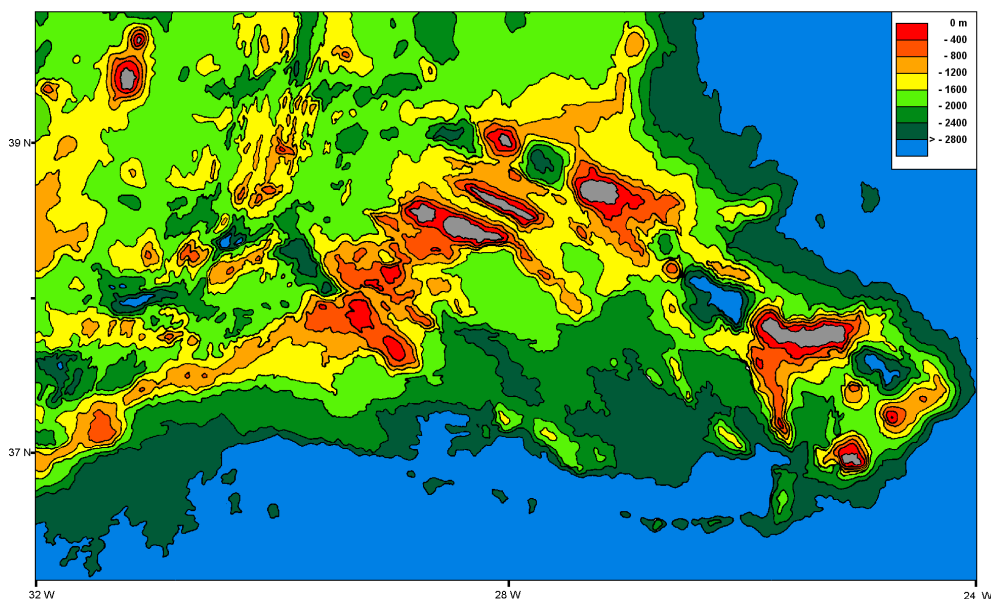


Figura 2.2 - Carta batimétrica da Plataforma dos Açores (adaptado de Lourenço *et al.*, 1997 in Queiroz, 1990).

A geomorfologia dos pontos emersos é marcada principalmente pela natureza do vulcanismo, influência tectónica e idade da ilha em questão.

A ilha do Corvo apresenta uma área total de 17,1 km², com cerca de 6,5 km de comprimento máximo. É dominada pelo seu vulcão Central, cuja caldeira de subsidência atinge a altitude máxima de 718 metros. Os flancos NW e W do vulcão, apresentam uma elevada erosão e vertentes muito abruptas em contraste com as vertentes menos inclinadas a leste e a sul.

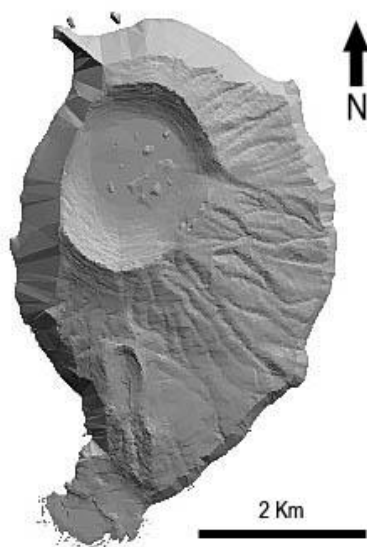


Figura 2.3 - Aspeto do relevo da Ilha do Corvo (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha das Flores estende-se por 141,6 km² de superfície, com um comprimento e largura máxima respectivamente de 17 e 12 km. Com uma forma elíptica, destaca-se a zona central em planalto, de altitudes entre os 500 e 915 metros (Azevedo, 1998). A passagem para a zona litoral faz-se quase sempre por escarpas ou zonas muito inclinadas.

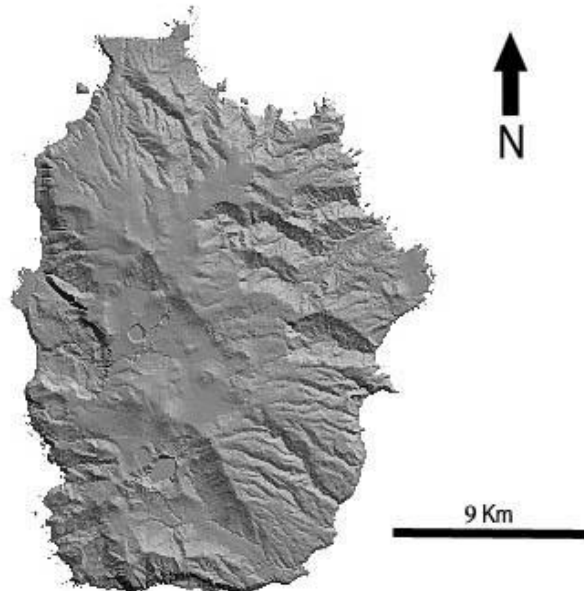


Figura 2.4 - Aspeto do relevo da Ilha das Flores (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha do Faial apresenta uma forma pentagonal, alongada segundo WNW-ESE. Com uma área de total de 174 km², sobressai o vulcão central da Caldeira com uma altitude máxima de 1043 m. O declive apresenta-se baixo nas zonas abaixo dos 200 m e aumenta progressivamente com a altitude (Coutinho, 2000)

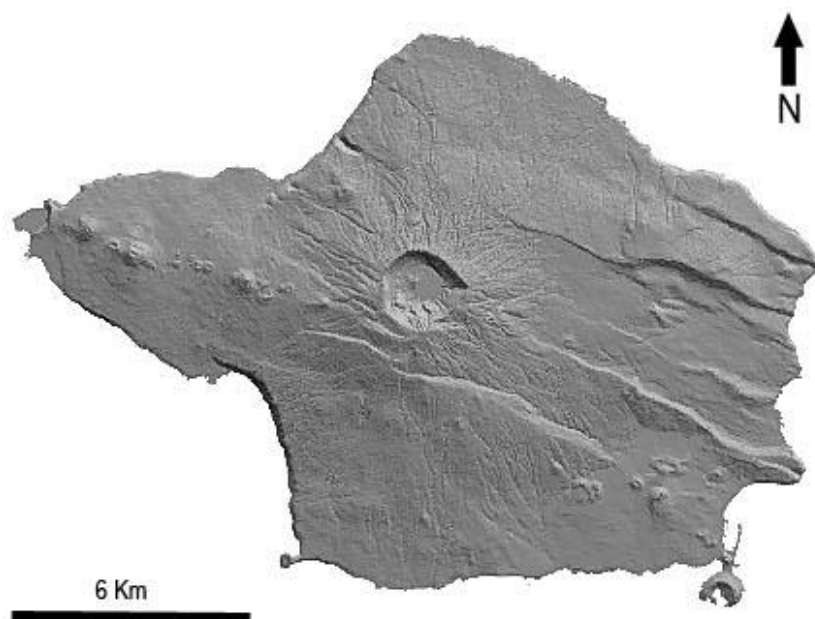


Figura 2.5 - Aspeto do relevo da Ilha do Faial (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha do Pico abrange cerca de 448 km², em que se salienta o imponente estratovulcão que lhe dá o nome, com uma altitude de 2351 metros. A ilha alonga-se para leste ao longo de 47 km, com um conjunto de vários cones de escórias que ocupam a zona central.

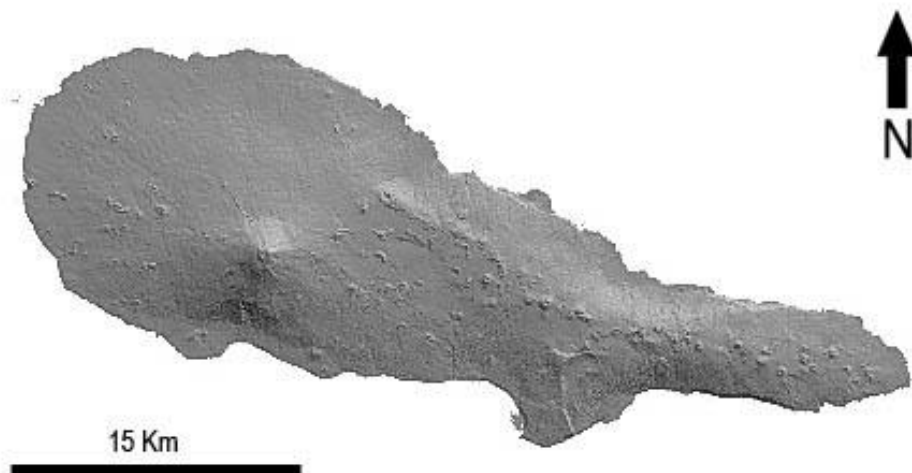


Figura 2.6 - Aspeto do relevo da Ilha do Pico (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

Com uma área de 403 km², a ilha Terceira é marcada pela associação de quatro estratovulcões e numerosos cones. Estes são; maciço da Serra de Santa Bárbara, localizada a oeste e onde é atingida a altitude máxima de 1021 metros; maciço da Serra do Morião e Caldeira Guilherme Moniz; maciço do Pico Alto; complexo da Serra do Cume, Ribeirinha e Caldeira dos Cinco Picos.

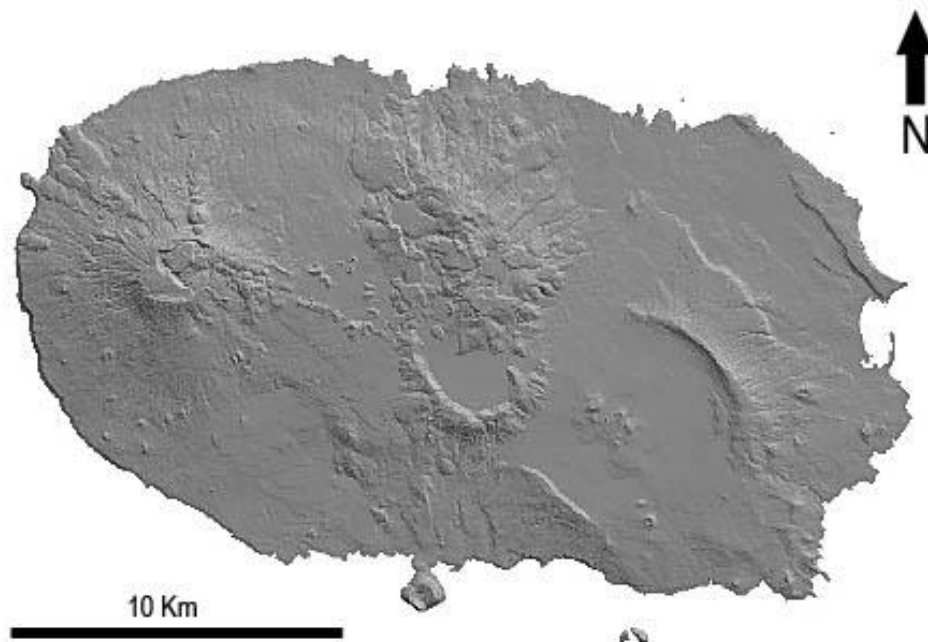


Figura 2.7 - Aspeto do relevo da Ilha da Terceira (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha Graciosa alonga-se segundo E-W, com uma superfície total de 61 km². Destaca-se na sua geomorfologia o maciço da Caldeira com 402 metros de altitude, localizado no lado SE. O resto da ilha desenvolve-se a altitudes muito baixas, com alguns cones de escórias e zonas aplanadas.

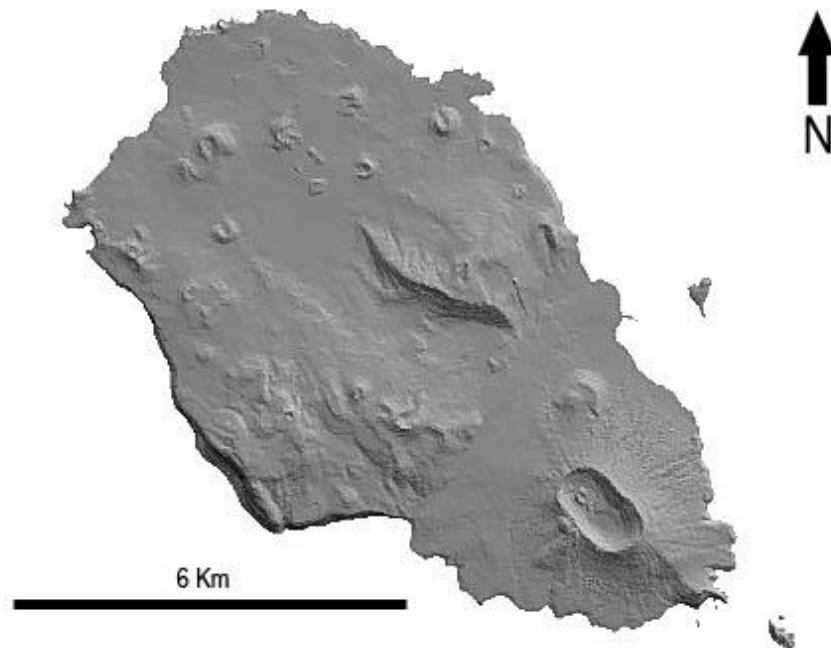


Figura 2.8 - Aspeto do relevo da Ilha Graciosa (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha de São Jorge apresenta 246 km² de território. Alonga-se ao longo de 55 km, na direcção WNW-ESE, marcada por uma cordilheira de cones de escórias com altitude máxima de 1053 metros e escarpas litorais muito inclinadas.

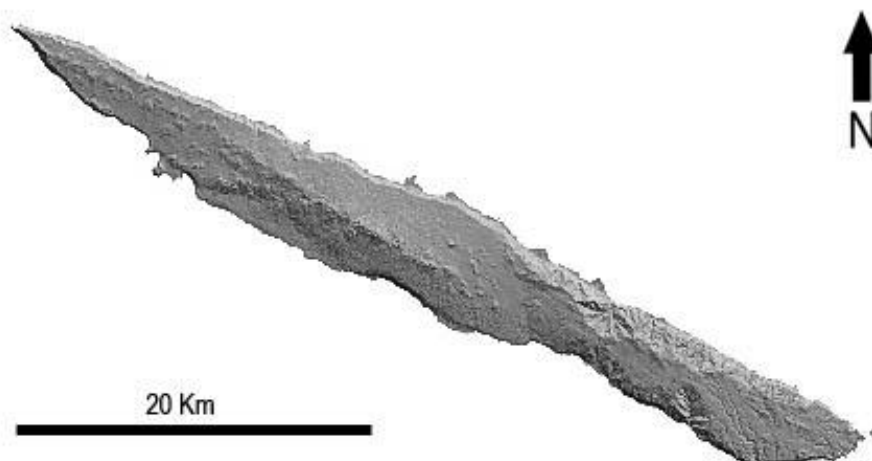


Figura 2.9 - Aspeto do relevo da Ilha de São Jorge (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

Santa Maria revela nos seus 97 km² de área um grande contraste entre a zona oeste e a zona leste, com a primeira muito aplanada e a segunda em comparação bastante acidentada. A altitude máxima é atingida no Pico Alto a 587 metros.

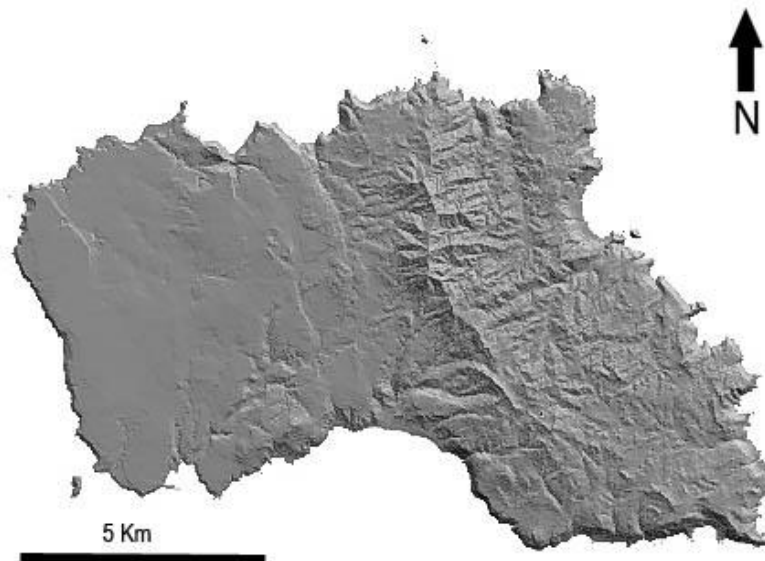


Figura 2.10 - Aspeto do relevo da Ilha de Santa Maria (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

A ilha de São Miguel, com cerca de 746 km² de área, alonga-se segundo E-W e é dominada por vários estratovulcões, geralmente com caldeiras associadas. A altitude máxima é atingida no Pico da Vara a 1103 metros.

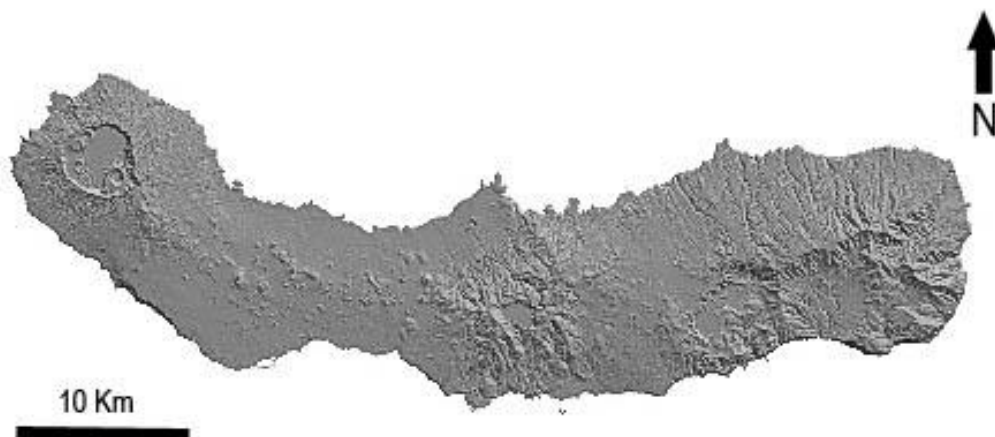


Figura 2.11 - Aspeto do relevo da Ilha de São Miguel (adaptado de www.climaat.angra.uac.pt).

2.2 - Tectónica

A existência dos Açores deve-se a mecanismos que podem ser explicados recorrendo à teoria da Tectónica de Placas. O arquipélago localiza-se na denominada zona de junção tripla dos Açores (Laughton *et al.*, 1972), num ambiente tectonicamente complexo, onde se estabelecem as fronteiras entre as placas norte Americana, Eurasiática e Africana (Fig. 2.12), reveladas pela Crista Médio-Atlântica (CMA), a Falha Açores-Gibraltar e o Rift da Terceira (RT).



Figura 2.12 - Principais estruturas tectónicas da região dos Açores (modificado de Gaspar, 1996).

Destas principais estruturas a mais importante e activa é a Crista Médio-Atlântica. Trata-se de um rifte, caracterizado pela ascensão de magma por correntes convectivas e criação de novo material basáltico *s.l.*, que por pressões distensivas se vai afastando da zona de crista formando novo fundo oceânico. O rifte atravessa de norte a sul todo o oceano atlântico, estando emerso na zona da Islândia. O arquipélago dos Açores é intersectado por esta estrutura, com as ilhas das Flores e do Corvo na Placa norte Americana, e as restantes na Placa Euroasiática.

Associado à zona de Rifte estão múltiplas zonas de falha transformantes, no geral perpendiculares à orientação da CMA. Isto deve-se principalmente a diferentes velocidades de expansão dos vários segmentos do Rifte. A norte dos Açores a velocidade média de expansão dos fundos oceânicos é de 1,7 cm e de 1,2 cm a sul (Laughton & Whitmarsh, 1974, *in* França *et al.*, 2003a).

A falha Açores-Gibraltar também denominada por Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA) por Krause (1965), estende-se desde a Crista Médio-Atlântica até ao estreito de Gibraltar, sendo entendida por vários autores como o prolongamento do sistema de fracturas da Cadeia Alpina.

O segmento entre a Falha GLORIA e a Crista Médio-Atlântica, poderá tratar-se de uma relíquia da antiga fronteira entre as placas Africana e Euro-Asiática, sem actividade tectónica actual. No entanto, o troço leste dessa estrutura, a

partir da Falha GLORIA, apresenta elevada sismicidade, apresentando-se como uma falha de transcorrente de desligamento direito (Gaspar, 1996).

O Rift da Terceira compreende uma série de estruturas tectónicas, marcado pelo alinhamento das ilhas Graciosa, Terceira, São Miguel, Ilhéus das Formigas, várias bacias oceânicas e um vulcão submarino (Carmo, 2004). Estende-se com uma direcção aproximada E-W, entre o segmento Leste da Zona de Fractura Norte dos Açores (ZFNA) e a extremidade W da Falha GLORIA. É uma zona sísmicamente muito activa e com grande responsabilidade na génese e implantação dos referidos edifícios vulcânicos. Para alguns autores, marca a fronteira entre as placas Africana e Euro-Asiática. A ZFNA corresponde a uma das falhas transformantes, associadas aos limites dos vários segmentos da CMA.

Esta região do Atlântico, ocupada pelos Açores, é caracterizada por uma elevada complexidade tectónica, o que levou a diferentes modelos interpretativos. Contudo, Madeira já em 1998, propôs o que parece ser o modelo tectónico mais adequado para a região, com o que designou como Centro de Expansão Oblíqua dos Açores (Fig. 2.13).

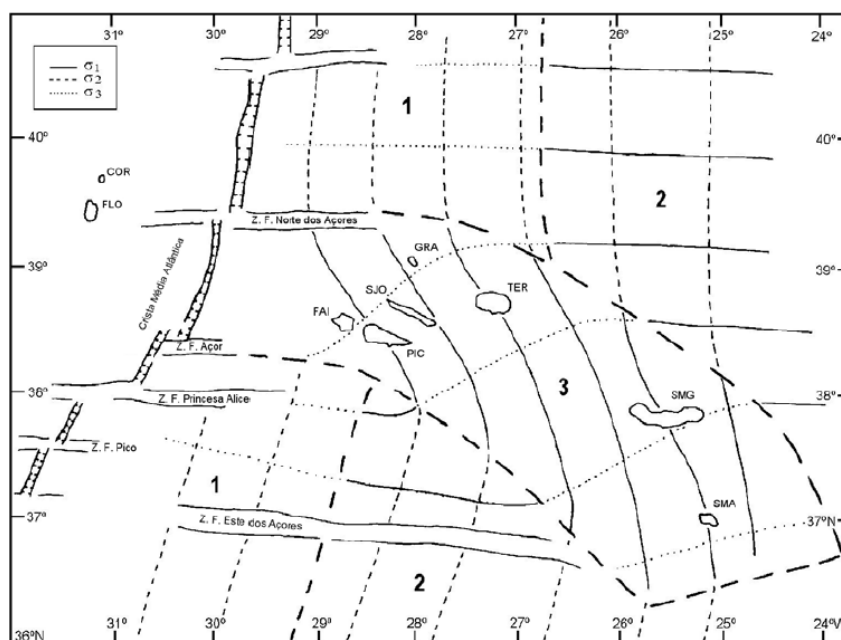


Figura 2.13 - Centro de Expansão Oblíqua dos Açores e orientação das tensões principais da região (retirado de Madeira, 1998).

Segundo este autor, o centro de expansão oblíqua dos Açores, marca a fronteira entre as placas Africana e Eurasiática, em que o campo distensivo esperado para a proximidade da Crista Médio-Atlântica é desviado e absorvido por múltiplas falhas, numa extensa área cisalhada. Isto deve-se ao movimento do ponto de junção triplo da Crista Médio-Atlântica, que ao longo da sua migração para Norte, terá acomodado estas tensões em várias falhas prolongadas até à Zona de Fractura Este dos Açores.

2.3 - Geologia e Vulcanismo

A geologia dos Açores não deve ser definida pelo somatório das características exibidas em cada ilha que compõe o arquipélago. Abrange uma área muito mais vasta, designada como Plataforma dos Açores (Fig. 2.14), definida pela curva batimétrica dos 2000 metros (Needham e Francheteau, 1974, *in* Ferreira, 2000).

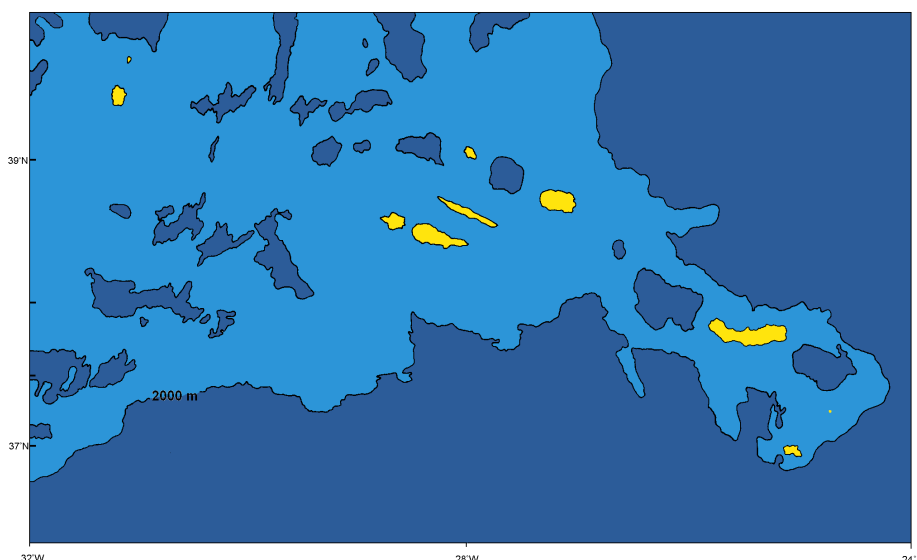


Figura 2.14 - Plataforma dos Açores, definida pela curva batimétrica dos 2000 metros (adaptado de Needham e Francheteau, 1974, *in* Queiroz, 1990).

Em alguns pontos desta plataforma emergem as nove ilhas, na realidade imponentes montanhas com apenas uma pequena parte emersa. É impossível datar o início exacto da formação de cada ilha, caracterizado por vulcanismo submarino, mas vários autores tem feito datações das rochas de génese subaérea mais antigas. As idades estimadas destas rochas apontam para vulcanismo sub-aéreo iniciado desde há 8 milhões de anos para a ilha de Santa Maria até aos 37 mil anos para a ilha do Pico.

Tabela 2.1 - Idade máxima das rochas subaéreas encontradas (várias fontes).

Ilha	Idade (milhões de anos)	Autores
Santa Maria	8,12 Ma	Abdel-Monem et al., (1975) e Madeira,(1986)
São Miguel	4,01 Ma	Abdel-Monem et al., (1975)
Terceira	2 Ma	Self, (1973)
Graciosa	2,5 Ma	White et al.,(1976)
São Jorge	0,55 Ma	Féraud et al. ,(1980)
Pico	0,037 Ma	Chovelon, (1982)
Faial	0,73 Ma	Féraud et al. ., (1980)
Flores	2,16 Ma	Azevedo, (1998)
Corvo	0,71 Ma	Dias, (2001)

A plataforma dos Açores inclui muitas centenas de edifícios vulcânicos, um cortejo intrincado de estruturas tectónicas e uma geoquímica complexa, resultante de diferentes processos de génese e evolução dos magmas.

Cada ilha, com as suas centenas de erupções, acaba por ter uma geologia distinta, relativa aos estilos vulcânicos e forma como estes se foram sucedendo na criação do edifício ilhéu. É notória a influência da tectónica, mas não é desprezável a importância do quimismo do magma e lavas, na construção de aparelhos vulcânicos que abrangem quase todas as tipologias conhecidas.

O enquadramento da geologia e vulcanismo de São Miguel será efectuado no capítulo III.

2.3.1 - Ilha do Corvo

A ilha do Corvo tem vindo a ser estudada por vários autores, dos quais se podem destacar Zbyszewsky *et al.* (1967), com a *Carta Geológica do Corvo*, Dias (2001), com a dissertação de mestrado *Geologia e tectónica da ilha do Corvo, Contributo para a interpretação vulcanoestrutural da Ilha do Corvo, Açores*, por Azevedo *et al.* (2003) e França *et al.* (2003b), com o *Estudo preliminar do Vulcanismo da Ilha do Corvo*.

De acordo com Dias (2001) e Azevedo *et al.* (2003), na ilha do Corvo são individualizáveis dois complexos vulcânicos. O Complexo de Base engloba a actividade vulcânica submarina emergente, constituída por tufo piroclásticos, resultantes de uma génese hidromagmática com cerca de $0,71 \pm 0,49$ M.a.

O Complexo Superior engloba três unidades distintas; a unidade CS1, marcada por intercalações de lavas e piroclastos de natureza basáltica e havaítica com níveis de pedra-pomes; a unidade CS2, semelhante à unidade CS1 mas sem níveis de pedra-pomes e com textura distinta (rochas porfíricas e pró-afíricas); a unidade CS3, com depósitos piroclásticos estrombolianos e freatomagmáticos.

Relativamente à vulcanoestratigrafia França *et al.* (2003b) consideraram quatro fases distintas na evolução da ilha: o vulcanismo Ante-Caldeira, possivelmente associado a um vulcão escudo, com escoadas, depósitos piroclásticos estrombolianos e filões, e as formações submarinas do Complexo Base; formações Sin-Caldeira, associadas a depósitos pomíticos plinianos a sub-plinianos e depósitos produzidos aquando do colapso da Caldeira (*surges* e *lahars*); formações Pós-Caldeira, compreendendo alguns episódios vulcânicos que originaram escoadas lávicas e alguns cones de escórias e *spatter*; formações Recentes que incluem depósitos epiclásticos, de vertente e cascalheiras de praia.

2.3.2 - Ilha das Flores

Segundo Azevedo & Portugal Ferreira (2006) a ilha das Flores pode ser dividida em dois complexos vulcânicos, o Complexo de Base e o Complexo Superior.

O Complexo de Base inclui sete formações distintas de acordo com a sua localização e características, podendo ser considerado como a proto-ilha. Estas formações incluem desde brechas e tufos, a séries de lavas e piroclastos de natureza basáltica *s.l.*, apresentando uma grande alteração. A datação indicou rochas com idades entre os 2,5 e 0,7 M.a.

O Complexo Superior foi dividido em três unidades e oito subunidades. A idade dos depósitos vai desde os 0,7 M.a até 3 mil anos. Ocupam todo o maciço Central e a maioria da orla periférica, incluindo lavas, piroclastos, escoadas traquíticas e depósitos freatomagmáticos. As lavas abrangem desde tipos basálticos até havaíticos, benmoreíticos e mugearíticos. As lagoas das Flores resultaram de eventos tipo *maar*, com depósitos freatomagmáticos associados.

Segundo Azevedo (1998), são ainda de notar os restos de três caldeiras vulcânicas camufladas por actividade posterior. O mesmo autor aponta para um possível *graben*, conhecido como vale das Lajes. Ao contrário da sua ilha vizinha, nas Flores não parece ter ocorrido vulcanismo explosivo marcadamente ácido. A actividade vulcânica secundária regista-se em duas nascentes termais, a nascente da Costa do Lajedo e a nascente do Poio Moreno.

2.3.3 - Ilha de São Jorge

Para a ilha de São Jorge, Forjaz (1970a, 1970b) considerou três complexos vulcânicos; C. V. do Topo; C.V. dos Rosais; C.V. de Manadas.

O C. V. do topo é o mais antigo, com datação realizada por Féraud (1980) a apontar para mais de 0,6 M.a. Localiza-se na parte mais oriental da ilha e consiste em várias escoadas lávicas sobrepostas do tipo *aa*, com piroclastos associados a cones estrombolianos e numerosos filões de orientação NE-SE e WNW-ESE (França *et al.*, 2003a). No lado ocidental da ilha demarca-se o C. V. dos Rosais, com as mesmas características gerais do C.V. do Topo, sendo de notar alguns piroclastos basálticos entre as escoadas lávicas.

O C.V. de Manadas encontra-se sobrejacente aos dois anteriores, sendo constituído por materiais semelhantes aos outros dois complexos, isto é, escoadas lávicas e cones estrombolianos com depósitos piroclásticos associados, sendo de referir no entanto, dois cones surtseianos. A orientação dos cones vulcânicos é WNW-ESE e NNW-SSE, respeitando a direcção das falhas nesta zona.

O vulcanismo em São Jorge é de natureza basáltica *s.l.*, com uma notória influência das falhas na implantação dos vários complexos, de natureza vulcânica fissural. A ilha apresenta ainda várias fajãs, formadas quer por colapsos das vertentes, quer por escoadas lávicas.

2.3.4 - Ilha do Pico

Cruz *et al.* (1995)) apresenta uma proposta para a vulcanoestratigrafia da ilha do Pico. Esta aponta para um desenvolvimento simultâneo dos três complexos identificados.

O C. V. das Lajes inclui o vulcão do Topo, um vulcão escudo. Encontra-se parcialmente coberto pelo C. V. do Nesquim. Este último complexo vulcânico é guiado segundo um alinhamento WNW-ESE a E-W, com vários cones de escórias e centros emissores de escoadas lávicas, de génese marcadamente fissural.

O C. V. da Madalena inclui o estrato vulcão do Pico, apresentando as estruturas vulcânicas mais preservadas (cones, crateras e escoadas), fruto da sua actividade mais tardia. Porventura a totalidade das rochas no Pico são de natureza basáltica *s.l.*, como também acontece na ilha de São Jorge. A sua proto-ilha deverá ter surgido há mais de 300 mil anos, ao longo de uma série de centros emissores vulcânicos de orientação WNW-ESE. Esta ilha apresenta-se como a mais jovem dos Açores.

2.3.5 - Ilha da Graciosa

A cartografia geológica inicial da Graciosa foi executada por Zbyszewsky *et al.* (1972). Gaspar (1996) considera para a Graciosa três complexos vulcânicos, nomeadamente o C.V. da Serra das Fontes, o C.V. da Serra Branca e o C.V. da Vitória-Vulcão central.

O C.V. da Serra das Fontes é o mais antigo, tendo Féraud *et al.* (1980) feito datações que apontam para 0,6 M.a., consideravelmente menos que os 2,5 M.a. apontados por White *et al.* (1976). Este complexo vulcânico terá consistido num vulcão escudo, com sucessões de escoadas lávicas basálticas. Cerca de 0,25 M.a. depois, inicia-se a actividade no C.V. da Serra Branca, desta feita com um vulcanismo muito mais explosivo, originando um edifício vulcânico central com caldeira associada. Os materiais formados variam entre escoadas e depósitos vulcanoclásticos traquíticos.

A unidade do C.V. da Vitória-Vulcão central pode ser dividida em duas partes. A zona da Vitória consiste em sequências de piroclastos e escoadas lávicas basálticas *s.l.*, sobrepostas às unidades mais antigas. A zona do vulcão central, contemporânea à actividade da zona da Vitória, é o reflexo da evolução do seu estratovulcão. Nas fases iniciais formou depósitos surtseianos a estrombolianos. Ao logo do seu desenvolvimento passou por várias fases alternantes de domínio explosivo possivelmente resultado de interacção com água (até sub-plinianas e plinianas) e domínio efusivo. Na fase final ocorre a formação de um lago de lava, que ao recuar forma a actual cavidade vulcânica da Furna do Enxofre.

2.3.6 - Ilha do Faial

A ilha do Faial tem vindo a ser estudada por diversos autores, desde Zbyszewsky (1959), com a primeira cartografia geológica, passando por Forjaz (1977), Serralheiro *et al.* (1989), Madeira (1998), Coutinho (2000) e Pacheco (2001). Nesta ilha podem individualizar-se cinco unidades vulcânicas, com as rochas subaéreas mais antigas a serem encontradas no Complexo Vulcânico da Ribeirinha, apresentando cerca de 0,8 M.a.. Nesta unidade podem ser encontradas escoadas basálticas e alguns depósitos piroclásticos.

O Complexo Vulcânico dos Cedros divide-se em duas sub-unidades. O Grupo Inferior engloba as formações mais antigas da caldeira do Faial. É constituído principalmente por escoadas lávicas basálticas, mas conta também com dois domos traquíticos. O Grupo Superior do C. V. dos Cedros é marcado pela actividade explosiva deste vulcão. Com o início deste fase há menos de 16 mil anos, são encontrados materiais desta unidade quase por toda a ilha, na forma de depósitos pomíticos e depósitos piroclásticos de queda e fluxo.

A unidade Formação do Almocharife corresponde a uma zona de vulcanismo fissural, com escoadas lávicas e depósitos piroclásticos basálticos. A Formação do Capelo, é formada por escoadas basálticas e depósitos piroclásticos. Não enquadradas directamente nestas unidades estão as Formações Históricas que incluem os depósitos das erupções históricas de 1672/73, no Cabeço do Fogo, e 1957/58 nos Capelinhos.

2.3.7 - Ilha da Terceira

Como para outras ilhas, o primeiro trabalho de cartografia geológica da Terceira foi efectuado por Zbyszewsky *et al.* (1971). De acordo com Nunes (2000), a ilha Terceira pode dividir-se em cinco unidades vulcano-estratigráficas.

O Vulcão dos Cinco Picos possui as rochas mais antigas desta ilha, tendo iniciado a sua actividade à mais de 2 M.a.. É formado por alternâncias de escoadas lávicas e depósitos piroclásticos, tendo originado uma caldeira de grandes dimensões. Este vulcão está ainda associado a relevantes depósitos ignimbríticos e de pedra-pomes, o que aponta para uma alternância de estilos durante a sua actividade.

A unidade do Vulcão de Guilherme Moniz ocupa a área menos extensa das identificadas. É constituído por vários domos traquíticos e centros eruptivos basálticos, contando ainda com dois cones surtseianos.

A unidade do estratovulcão Vulcão de Santa Bárbara é marcada por uma fase inicial básica, tendo evoluído para um estilo caracterizado por domos traquíticos e depósitos de pedra-pomes. De referir nesta unidade a ocorrência de cones de escórias e escoadas lávicas, alinhados segundo falhas de direcção NW-SE.

A unidade do Vulcão do Pico Alto corresponde a uma extensa área em que alternam os depósitos piroclásticos e as escoadas traquíticas. Algumas dessas escoadas e domos localizam-se nos limites da caldeira de subsidência.

Finalmente a unidade da Zona Basáltica Fissural tal como indica o seu nome, corresponde a vários centros eruptivos do tipo havaiano a estromboliano, com escoadas basálticas predominantes.

2.3.8 - Ilha de Santa Maria

Serralheiro *et al.* (1987) elaboraram a Carta Vulcanológica de Santa Maria, tendo identificado oito unidades principais.

A Formação dos Cabrestantes corresponde a vulcanismo submarino, com material piroclástico muito alterado de idade superior a 10 M.a., as rochas mais antigas do arquipélago. A denominada Formação do Porto é composta por dois cones de escórias estando na sua porção superior argilizados no contacto com o Complexo dos Anjos. Este complexo com idade máxima de 8 M.a. é constituído por espessas escoadas basálticas, intercaladas com níveis finos de piroclastos.

A unidade do Complexo do Touril apresenta uma sequência de estratos única nos Açores. Na base estão presentes depósitos de conglomerados seguidos de escoadas lávicas. No topo destas encontram-se materiais vulcânicos submarinos e finalmente uma sequência de rochas sedimentares marinhas. Esta sequência denuncia um episódio de subida do nível da água do mar, na ordem dos 180 metros.

O Complexo do Facho-Pico Alto conta com duas zonas distintas. Na zona do Facho predominam ainda os depósitos vulcânicos submarinos. Na zona do Pico Alto, o tipo de vulcanismo altera-se para subaéreo, com uma considerável produção de escoadas e piroclastos basálticos.

A Formação de Feteiras é a última unidade vulcânica, com actividade há menos de 4,5 M.a. Os depósitos de lapilli e cinzas exibem uma profunda argilização, sintoma de um clima bastante quente e húmido. As Formações Plistocénicas apresentam leitos sedimentares de rochas, em parte, originárias da Formação de Feteiras. Finalmente as Formações Holocénicas incluem depósitos sedimentares recentes de terraços fluviais, de areias eólicas e de praias, aluviões e depósitos de vertente.

2.4 - Sismicidade e Vulcanismo Histórico

Desde os meados do século XV registaram-se nos Açores dezenas de erupções vulcânicas e sismos destruidores. Os eventos vulcânicos foram na sua maioria de natureza basáltica, mas também ocorreram eventos de quimismo mais ácido possivelmente do tipo sub-pliniano.

A localização da maioria dos centros eruptivos coincide com a zona do Rife da Terceira e com a fractura Faial-Pico, confirmando a influência das estruturas tectónicas na localização do vulcanismo insular.

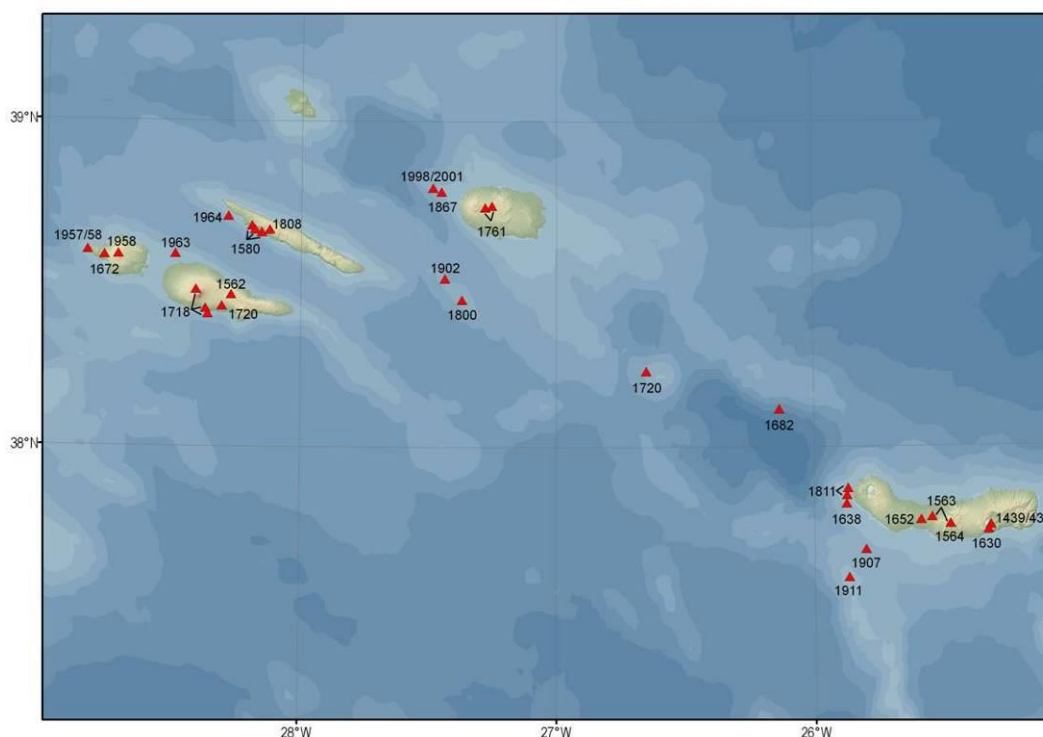


Figura 2.15 - Distribuição das erupções históricas nos Açores (modificado de Weston, 1964, com dados de Queiroz, 1990 e Queiroz *et al.* 1995. Imagem do CVARG).

Contudo, e apesar da sua relativa abundância, não foi elevado o número de fatalidades, sendo os seus efeitos mais sentidos nas perdas materiais subsequentes. A título de exemplo, o último vulcão subaéreo em actividade nos Capelinhos do Faial, provocou a inutilização por vários anos de extensos campos agrícolas e soterrou algumas habitações, tendo conduzido à mais importante vaga de emigração dos Açores.

Mais recentemente, com a melhoria dos meios de detecção e conhecimento científico, tornou-se possível interpretar sinais importantes de pré-atividade vulcânica, com a detecção e interpretação de certos tipos de sismicidade.

Quanto à actividade sísmica, é extremamente abundante e por vezes significativa. Diariamente são registados numerosos eventos microssísmicos, com a ocorrência ocasional de sismos de maior magnitude.

Outro aspeto importante é o frequente comportamento em enxame, com a ocorrência um número elevado de sismos espacial e temporalmente próximos

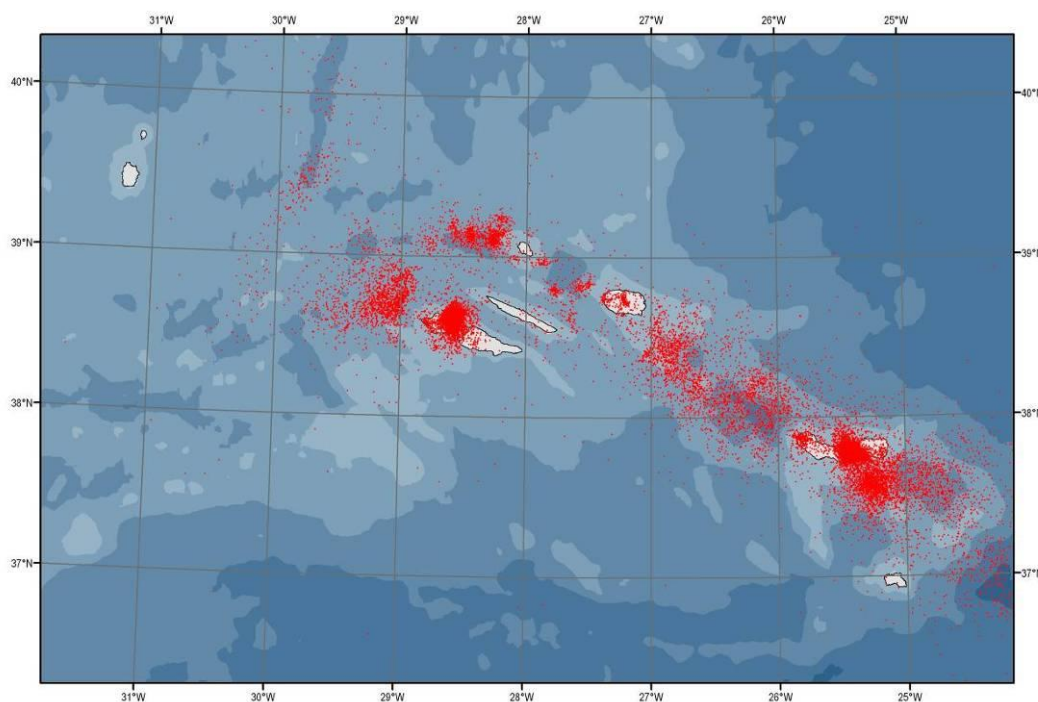


Figura 2.16 - Carta epicentral referente ao período 1980-2006 (dados do SIVISA, 2006).

A sua distribuição geográfica denota clara concentração dos epicentros ao longo das estruturas tectónicas já identificadas, nomeadamente o Rife da Terceira e a fractura Faial-Pico. De notar ainda a concentração de eventos sísmicos na proximidade de alguns complexos vulcânicos potencialmente activos.

Os sismos são responsáveis pelo maior número de fatalidades provocadas por catástrofes naturais nos Açores, dos quais se destaca o sismo de 1522, sentido com maior intensidade em Vila Franca, com mais de 4 mil vítimas mortais. Mais recentemente podem-se referir quer o sismo de 1980, quer o de 1998, respectivamente sentidos com maior intensidade na Terceira com 61 mortes e no Faial com 8. Bastariam apenas estes números para demonstrar a importância da continuação do seu estudo, monitorização e identificação das vulnerabilidades a este tipo de fenómeno nos Açores.

2.5 - Hidrologia e Clima

A localização dos Açores no centro do Atlântico Norte coloca as ilhas sobre a influência quer de sistemas climáticos gerados nos Ártico, quer gerados a sul em zonas equatoriais. A própria massa de água circundante actua como um factor estabilizador, com as temperaturas nunca a divergirem muito daquela que é observada no oceano. Factores endógenos como a altitude, proximidade ao mar ou a exposição do terreno vão influenciar localmente o clima.

O clima nos Açores é temperado marítimo, marcado por baixa amplitude térmica, elevada pluviosidade e humidade relativa e ventos persistentes. A própria orografia das várias ilhas favorece variações de clima bruscas, à medida que varia a altitude.

A precipitação média anual é de 1930 mm, com a temperatura a variar entre os 14 e os 25°C. A temperatura do mar varia entre os 16 e os 22°C, influenciada pelas correntes predominantes da altura do ano. A humidade mantém-se elevada durante o ano, normalmente a rondar os 80%, sendo a pluviosidade o principal factor de distinção das estações. É nos meses de Outubro a Março, que ocorre 75% da precipitação total do ano. A precipitação média em cada ilha é directamente dependente da altitude, notado-se variações consideráveis de precipitação média, desde 966 e 1200 mm na Graciosa e Santa Maria até 2647 e 2517 mm na ilha das Flores e do Pico.

Consequentemente a quantidade de água disponível em cada ilha, quer superficial quer subterrânea, depende directamente da precipitação. A evapotranspiração é significativa, sendo o valor médio para os Açores de 581 mm (DROTRH-INAG, 2001).

Considerando a figura 2.17, fica bem patente que o clima é um factor determinante na hidrologia dos Açores, sendo a precipitação a única fonte e a evapotranspiração altamente dependente de factores climáticos.

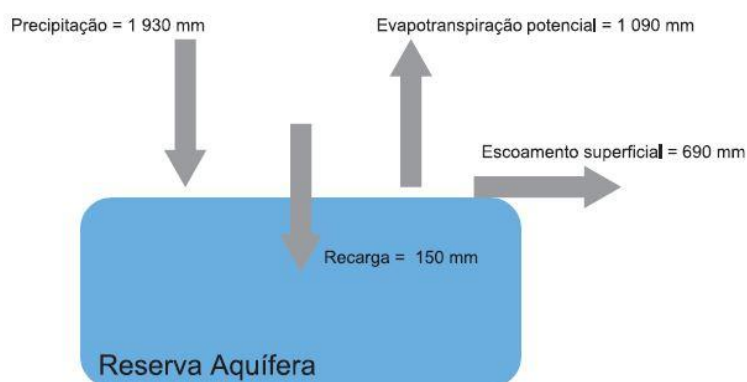


Figura 2.17 - Balanço hidrológico para os Açores (DROTRH-INAG, 2001).

Quanto aos recursos hídricos de água doce dos Açores dividem-se em quatro categorias principais: águas de superfície, águas subterrâneas, águas de transição e águas costeiras .

As águas de superfície no arquipélago encontram-se na forma de ribeiras ou lagoas. A maioria das ribeiras caracteriza-se como de regime temporário e torrencial, de caudal elevado no inverno e nulo ou quase nulo no verão. Ribeiras de regime permanente encontram-se apenas em cinco das nove ilhas, nomeadamente em São Miguel, Santa Maria, Faial, São Jorge e Flores. Nestes casos são fruto da existência de reservatórios como as lagoas ou nascentes de maior caudal.

Relativamente às lagoas, segundo dados do Plano Regional da Água, estão inventariadas 88 massas de água, situadas nas ilhas de São Miguel, Terceira, Pico, Flores e Corvo (DROTRH-INAG, 2001). A área total ocupada é 9,5 Km², com 90% desta superfície localizada em São Miguel. A estimativa da água total retida nas lagoas aponta para 90 milhões de m³, novamente com mais de 93% desse valor apontado para São Miguel.

Porventura o recurso hídrico mais importante manifesta-se nas águas subterrâneas. Estas constituem aquíferos, definidos por Custodio & Llamas (1983) como uma formação geológica que contém e permite a circulação de água subterrânea de modo eficiente, possibilitando suprir as necessidades de consumo, por parte do Homem, de forma economicamente rentável.

Os aquíferos dos Açores, com nascentes associadas, podem ser livres ou semiconfinados, associados estruturalmente a um nível inferior impermeável ou com condutividade hidráulica muito reduzida.

O quimismo da água das nascentes açoreanas frequentemente reflecte a influência de dois grandes processos, relacionados quer com o vulcanismo quer com a influência marinha. Deste modo a maioria das águas recolhidas das nascentes caracterizam-se por pertencerem às fácies bicarbonatada sódica a cloretada sódica.

Os recursos de água subterrânea encontram-se divididos em 54 sistemas aquíferos, seis na ilha de Santa Maria, seis na ilha de São Miguel, 11 na ilha Terceira, nove na ilha Graciosa, três na ilha de São Jorge, seis na ilha do Pico, oito na ilha do Faial, três na ilha das Flores e dois na ilha do Corvo. A definição dos vários sistemas aquíferos foi feita com base em critérios geológicos, como a vulcanoestratigrafia, a litologia, condicionamentos tectónicos e aspetos hidrogeológicos, como as características gerais, a produtividade dos caudais específicos e os parâmetros hidráulicos (Cruz, 2001).

Quanto às chamadas águas de transição e águas costeiras acabam por não representar recursos hídricos quantitativamente muito significativos. No primeiro caso a sua ocorrência é pontual e rara, sendo apenas notadas em São Jorge em algumas Fajãs com lagoas associadas. No segundo caso, a

inexistência de uma plataforma continental nas ilhas, reduz grandemente a área potencialmente rica em águas costeiras.

Sem a existência do reservatório, a hidrologia seria um balanço directo entre água precipitada, escoamento e evapotranspiração. Na realidade o ciclo da água nos Açores é fortemente modelado pelas particularidades locais, relacionadas com a natureza do substrato e tipo de rochas (Cruz,2004). Devem referir-se o grau de alteração, a estrutura do meio e fracturação como factores primordiais na circulação e armazenamento da água.

No caso das escoadas lávicas, é observável uma anisotropia interna na sua condutividade hidráulica, de acordo com o maior ou menor grau de fracturação e presença de níveis de escórias ou *clinker*. Por outro lado, mesmo níveis com elevada porosidade dos seus constituintes, como os tufos, podem apresentar uma porosidade efectiva e hidraulicamente produtiva muito baixa. A própria alteração das rochas com a idade pode promover a argilificação e diminuição da condutividade hidráulica.

A natureza das rochas vai decidir se nos aquíferos predomina a condutividade por fissuras (comuns em escoadas lávicas), ou aquíferos marcados pela porosidade, normalmente associados a depósitos piroclásticos. Nas ilhas vulcânicas ocorrem dois tipos principais de aquíferos, os aquíferos suspensos ou de altitude, e os aquíferos de base. Os primeiros exigem um nível impermeável subjacente, sendo alimentados pela precipitação, os segundos instalam-se na zona de saturação de água assente sobre a água salgada mais densa.

Como é perceptível, a hidrologia física dos Açores vai depender quase exclusivamente das condições climáticas e da morfologia do terreno. Os valores máximos de drenagem são atingidos nas vertente mais inclinadas com vegetação do tipo pastagens, com a infiltração máxima normalmente associada a zonas basálticas recentes, com arbustos e árvores. A rede de drenagem tem uma distribuição radial relativamente aos edifícios vulcânicos, com o escoamento superficial médio nos Açores a atingir 322 milhões de m³ de água por ano. São Miguel apresenta o maior valor absoluto, com 511 milhões e a Graciosa o mais baixo, com 8 milhões de m³.

Na maioria dos casos, a juventude das formações vulcânicas não revela uma erosão pronunciada associada à rede hidrográfica e as bacias são relativamente pequenas, com a maior a atingir os 30 km².

O maior curso de água tem uma extensão de 29 km, ribeira da Povoação, pelo que todos recebem a designação de ribeiras ou ribeiros. Quando as bacias hidrográficas são endorreicas, normalmente alimentam lagoas implantadas nas caldeiras dos vulcões.

3 – Enquadramento da Área Estudada

3.1 - Localização Geográfica

A ilha de São Miguel enquadra-se entre as latitudes 37°42' e 37°54'N e as longitudes 25°51' e 25°08'W, apresentando uma orientação geral E-W (Fig. 3.1). Com um comprimento máximo de 65 km e uma largura máxima de cerca de 16 km, ocupa uma área de 746 km², o que a torna a maior dos Açores. (Wallenstein, 1999).

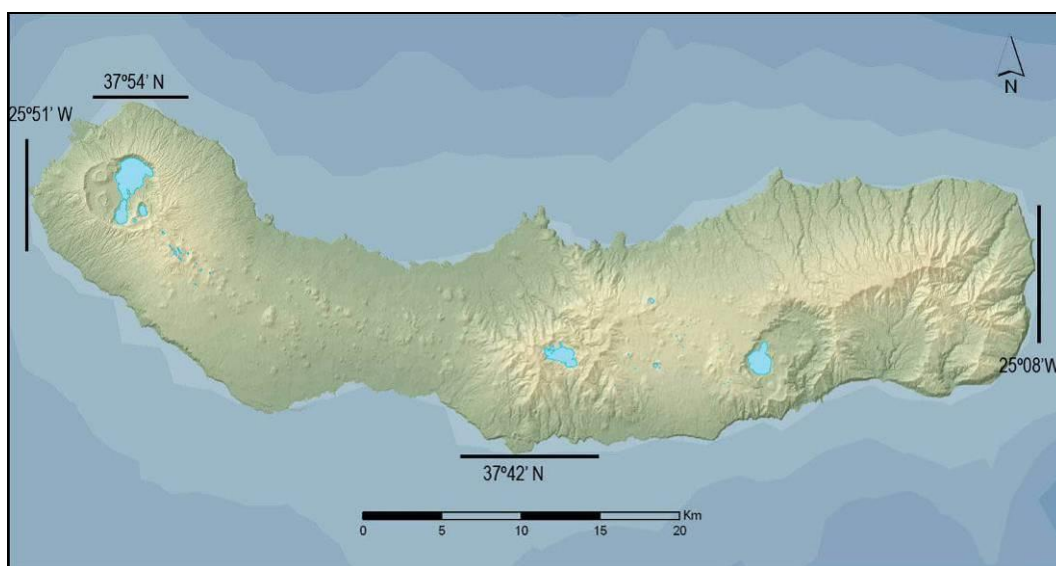


Figura 3.1 - Localização geográfica de São Miguel. (adaptado de www.cvarg.pt).

Os quatro cursos de água estudados definem bacias hidrográficas localizadas na parte central e oriental de São Miguel, nos concelhos da Ribeira Grande, Nordeste e Povoação (Fig. 3.2).

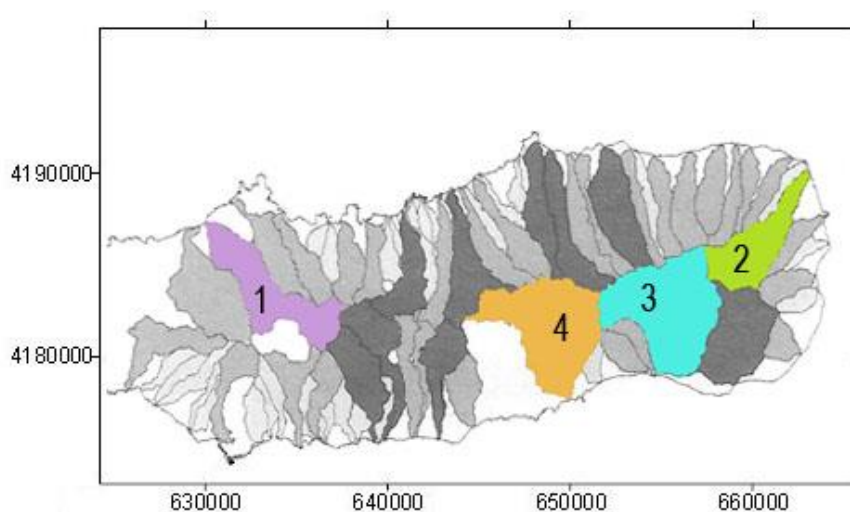


Figura 3.2 - Localização das bacias hidrográficas (BH) dos cursos de água estudados; 1- BH da Ribeira Grande, 2 - BH da Ribeira do Guilherme, 3- BH da Ribeira da Povoação, 4- BH da Ribeira das Furnas. Coordenadas U.T.M. da quadrícula 26 S (adaptado de DROTRH-INAG, 2001).

O estudo dos sedimentos e características da água realizou-se em onze pontos (estações) dos cursos de água seleccionados, cujas coordenadas no sistema UTM WGS 84 são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Coordenadas UTM das estações de amostragem seleccionadas.

Nome	Estação	Coordenadas UTM WGS 84		Precisão m
		M	P	
Ribeira Grande Foz	1	629982	4187322	6
Ribeira Grande Salto do Cabrito	2	632491	4184250	4
Ribeira Grande Lombadas	3	635624	4182074	5
Ribeira do Guilherme Foz	4	663017	4190128	3
Ribeira Guilherme Moinhos	5	662277	4189036	5
Ribeira da Povoação Foz	6	654604	4179008	6
Ribeira da Povoação Centro	7	654877	4179642	3
Ribeira da Povoação Moitas	8	655017	4182134	4
Ribeira das Furnas Foz	9	649968	4177818	6
Ribeira das Furnas F.te Serra Trigo	10	650188	4181890	2
Ribeira das Furnas F.te Gloria Patri	11	648443	4182280	6

As estações de amostragem 1,2 e 3 localizam-se no concelho da Ribeira Grande, ao longo do curso de água homónimo (Fig. 3.3).



Figura 3.3 - Aspeto da localização das estações de amostragem no curso de água da Ribeira Grande (adaptado de <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

As estações 4 e 5, respectivamente Foz e Moinhos, localizam-se no Concelho do Nordeste, na Ribeira do Guilherme (Fig. 3.4).

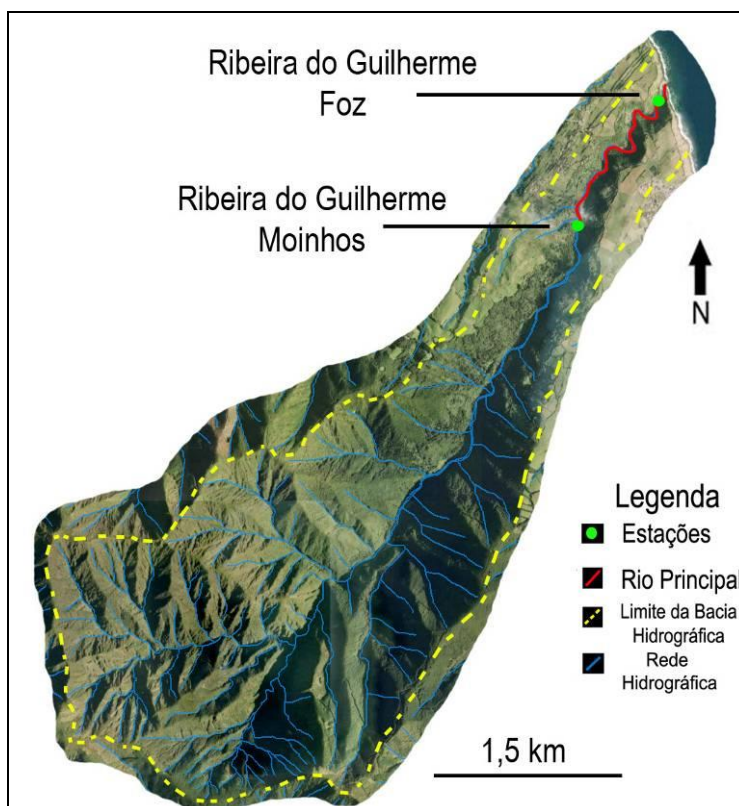


Figura 3.4 - Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira do Guilherme (adaptado de <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

Na Ribeira da Povoação, situada no concelho da Povoação, foram demarcadas as estações 6, 7 e 8, (Fig. 3.5)

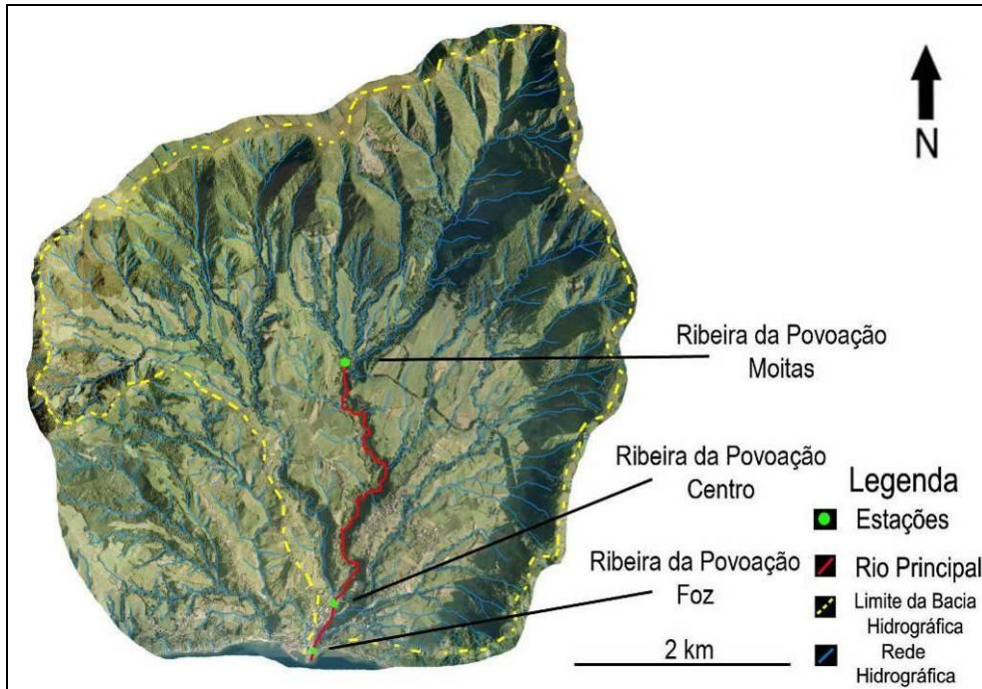


Figura 3.5 - Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira da Povoação (adaptado de <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

Por último, a Ribeira das Furnas situa-se no concelho da Povoação, com as estações 9, 10 e 11 distribuídas ao longo deste curso de água (Fig. 3.6).

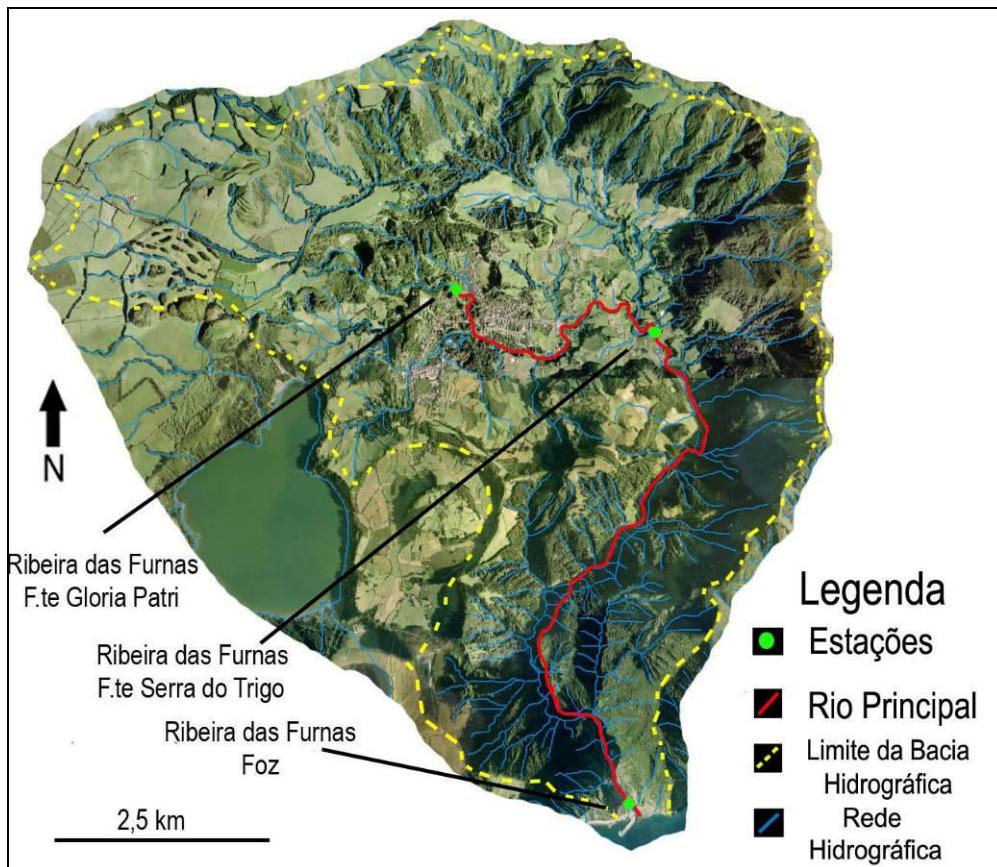


Figura 3.6 - Aspeto da localização das estações no curso de água da Ribeira das Furnas (adaptado de <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

3.2 - Enquadramento Geológico

3.2.1 - Tectónica

Vários autores têm identificado alinhamentos e sistemas de falhas associados à influência da tectónica na ilha de São Miguel.

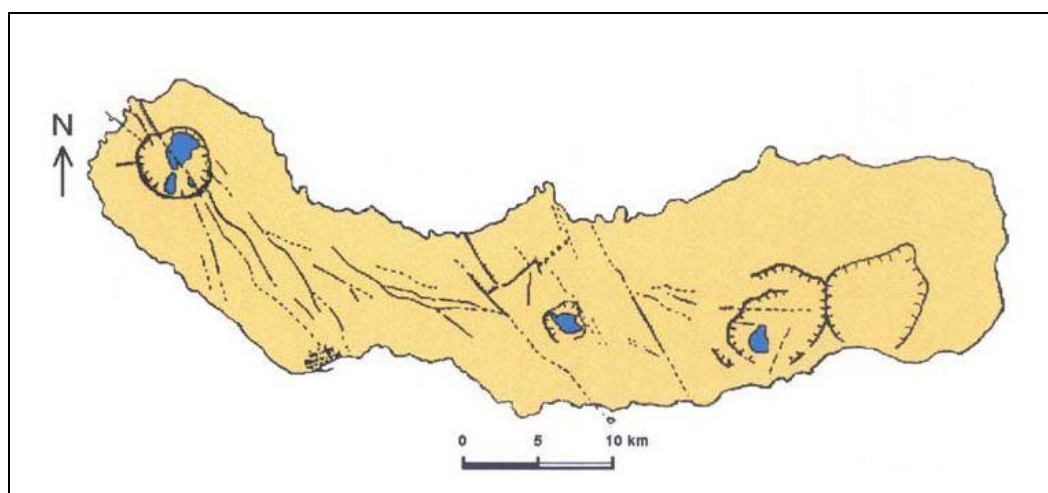


Figura 3.7 - Principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel (retirado de Queiroz, 1997).

Sobressaem dois sistemas de falhas principais; o primeiro de orientação geral NW-SE a WNW-ESE e o segundo de orientação NNW-SSE a N-S.

O primeiro sistema de falhas é dominante, sendo visível em várias escarpas de falhas associadas a estruturas de *graben* (Mosteiros e Água Retorta), assim como alinhamentos de edifícios vulcânicos em zonas de rifte (Carmo, 2004). O segundo manifesta-se em alinhamento de estruturas vulcânicas e vários lineamentos. A intercepção destes dois sistemas de falhas pode justificar a localização dos vulcões poligenéticos, enquanto a maioria dos vulcões monogenéticos se encontra associado ao primeiro sistema de falhas.

A implantação dos cursos de água estudados mostra em alguns casos um provável controlo tectónico. No caso da Ribeira Grande há um alinhamento quase paralelo da direcção do curso de água com as direcções propostas para o *graben*, NNW-SSE. O mesmo acontece em várias secções das outras ribeiras, embora não de uma forma tão clara, sugerindo lineamentos normalmente associados a falhas.

3.2.1 - Vulcanismo e Geomorfologia

Com um critério principalmente baseado na geomorfologia, Zbyszewski (1961), dividiu a ilha de São Miguel em oito regiões (Fig. 3.8). Desde então vários autores têm vindo a propor novas divisões e diferentes limites para as mesmas regiões, com base em critérios vulcanológicos e vulcanoestratigráficos, mas a identificação feita por Zbyszewski continua a ter validade. Este autor considerou as seguintes unidades geomorfológicas: Vulcão das Sete Cidades, Região dos Picos, Vulcão do Fogo, Planalto da Achada das Furnas, Planalto Setentrional, Vulcão das Furnas, Vulcão da Povoação e Região do Nordeste e da Tronqueira.

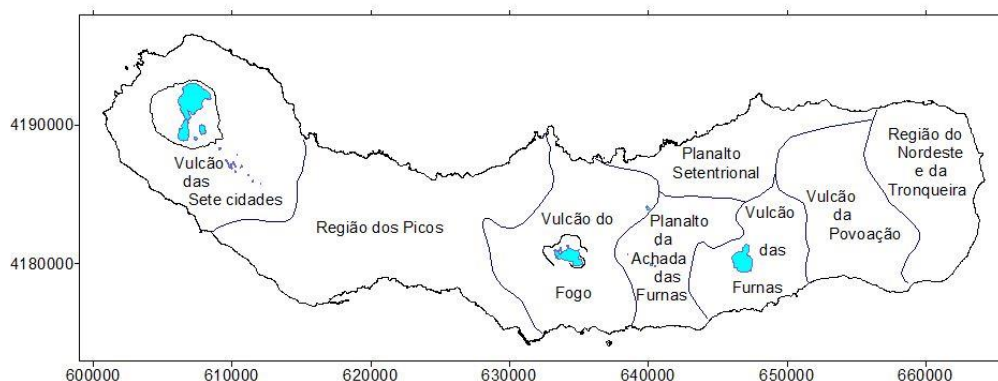


Figura 3.8 - Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel (adaptado de Zbyszewsky, (1961) in Ferreira, 2000).

Segundo Queiroz (1997), o vulcão das Sete Cidades é um edifício poligenético com altitude máxima de 856 m e diâmetro basal de 14 km. O edifício vulcânico conta com uma extensa caldeira onde se podem encontrar variadas formas vulcânicas, desde *maars s.l.*, domos, cones de pedra-pomes e cones de escórias. Nos flancos do vulcão observam-se alguns cones vulcânicos secundários. A caldeira tem uma profundidade aproximada de 400 metros, com parte da sua área ocupada por algumas lagoas, das quais se destacam a Lagoa Azul e a Lagoa Verde.

De acordo com Ferreira (2000), a Região dos Picos corresponde a uma zona de baixa altitude média (200 m), onde predominam numerosos vulcões monogenéticos, de natureza basáltica *s.l.* Os vários cones de escórias encontram-se associados a escoadas lávicas, principalmente do tipo *aa*. Outras estruturas como domos e cones de pedra-pomes estão associadas à actividade do C.V. do Fogo. É ainda de notar o alinhamento de vários centros vulcânicos emissores segundo a direcção NW-SE, visível ainda em falhas nos cones e crateras.

Segundo Wallenstein (1999), o vulcão do Fogo corresponde genericamente a um vulcão poligenético com caldeira associada. A altitude máxima é atingida no Pico da Barrosa a 949 metros de altitude. São visíveis múltiplas formas vulcânicas que decorrem de vulcanismo de composições magmáticas basálticas *s.l.* a traquíticas. Segundo o mesmo autor, o denominado Graben da Ribeira Grande, influencia a distribuição de vários domos, cones de escórias e

outras estruturas vulcânicas. A direcção predominante desta estrutura, segundo NW-SE, ainda se faz sentir na implantação dos cursos de água.

Segundo Zbyszewski *et al.* (1958) o Planalto da Achada das Furnas enquadra-se numa zona de transição entre os vulcões do Fogo e das Furnas, com uma altitude média de 450 m. Engloba diversos cones de escórias, domos e o *maar* da Lagoa do Congro. O mesmo autor denota o alinhamento preponderante E-W, na instalação destas estruturas.

A Região do Planalto Setentrional caracteriza-se pela presença de um conjunto de interflúvios ou lombas, mais ou menos paralelos, estendendo-se desde o Planalto dos Graminhais até ao litoral Norte da ilha. Na superfície deste planalto é possível identificar alguns aparelhos vulcânicos de pequenas dimensões (Zbyszewski *et al.*, 1958). No litoral são visíveis plataformas de escoadas lávicas cobertas por material piroclástico mais recente e por vezes indícios de antiga abrasão marinha.

A Região do Vulcão das Furnas é marcada pela caldeira um pouco rebaixada do seu vulcão poligenético. Com um diâmetro máximo de sete km, no seu interior surgem vários domos e cones de escórias, com as vertentes mais marcadas do lado sul. Segundo Guest *et al.* (1999), as áreas de subsidência onde se implantam a lagoa e o local das Furnas, foram provocadas por eventos vulcânicos ocorridos há menos de 5000 anos.

O Vulcão da Povoação consiste num vulcão poligenético com caldeira associada. A erosão é bastante mais pronunciada do que no Vulcão das Furnas, e a sua caldeira encontra-se visivelmente truncada no lado Sul, possivelmente por erosão marinha (Guest *et al.*, 1999).

A Região do Nordeste e da Serra da Tronqueira embora com sinais de forte erosão, apresentam o ponto mais alto da ilha, com 1105 metros atingidos no Pico da Vara. Trata-se de um antigo vulcão em escudo, com as linhas de água fortemente encaixadas a separar os interflúvios (França *et al.*, 2003a).

3.2.1 - Petrologia das Áreas Estudadas

Moore (1991) apresentou a carta vulcanológica de São Miguel que conta entre outros aspetos com a identificação das formas vulcânicas e descrição dos tipos litológicos principais. Optou por dividir a ilha em 6 zonas vulcânicas, com uma divergência principal em relação a outras interpretações pela junção das zonas do Nordeste e Povoação (Fig.3.9).

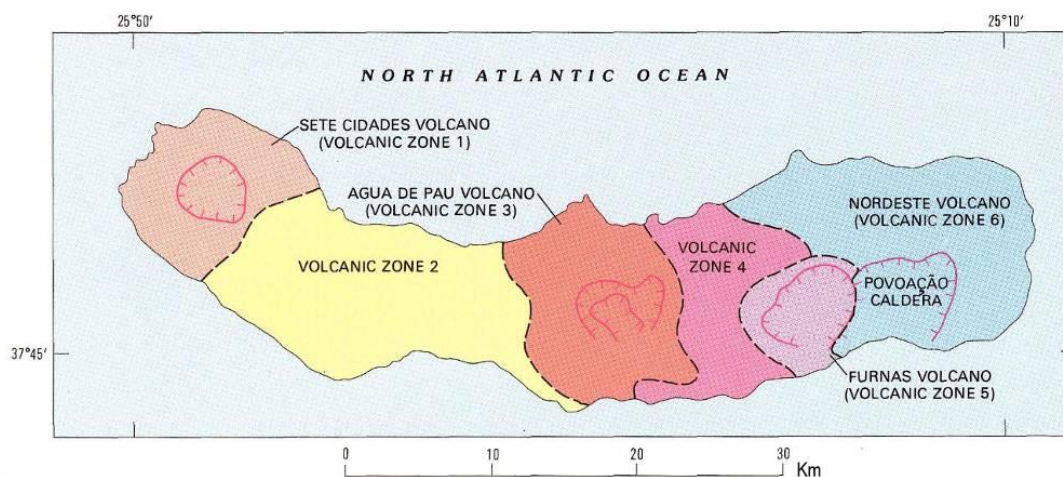


Figura 3.9 - Zonas Vulcânicas definidas por Moore (1991).

Pelo facto desta cartografia proceder à individualização das formas e descrição das litologias correspondentes, optou-se por utilizar a descrição sumária das unidades identificadas por Moore (1991), na caracterização da área das bacias hidrográficas demarcadas. Este autor refere-se a alguns termos petrográficos específicos correspondentes a composições químicas e mineralógicas padronizadas (Le Bas, 1986) que importa referir, das mais máficas para as mais félsicas.

- **Ankaramitos:** rochas com 15 a 40 % do volume constituído por fenocristais de olivinas clinopiroxenas e cristais de plagioclases envolvidos numa massa microcristalina de plagioclase, piroxenas e olivinas.
- **Basanitos:** são marcados por uma composição normativa de feldspatos, não verificada a nível modal. As rochas podem ser afíricas ou apresentar alguns fenocristais de olivina e mais raramente clinopiroxenas e plagioclases. O material microcristalino é marcado por uma clinopiroxena titanífera, o que se reflecte numa composição de mais 3,5 % de peso total em titânio (TiO_2).
- **Basaltos olivínicos alcalinos:** marcam um termo de transição entre os termos mais máficos (ankaramitos e basanitos) e os menos máficos (havaítos e mugearitos). Apresentam poucos fenocristais de olivinas, piroxenas e plagioclases, numa massa microcristalina da mesma

composição. A composição normativa aponta para menos de 2% de nefelina e menos de 15% de fenocristais de olivinas e clinopiroxenas.

- **Havaítos:** são basaltos s./., normalmente afíricos. Algumas amostras contêm menos de 1% de fenocristais de olivinas e restantes minerais máficos.
- **Mugearitos:** muito semelhantes aos havaítos em amostra de mão, contudo a análise química revela teores mais elevados em sódio, potássio e sílica.
- **Basaltos Híbridos:** de acordo com Moore (1991), estas rochas resultam da mistura de material de composição basanítica e traquítica, ocorrendo principalmente associados ao vulcão do Fogo.
- **Tristanitos:** Rochas marcadas por uma proporção de K_2O para Na_2O maior ou igual a 1. O conteúdo em sílica é relativamente elevado (55 a 60%) e normalmente são afíricas.
- **Traquitos:** a maioria apresenta fenocristais de feldspatos alcalinos, plagioclases entre outros, sendo as rochas com maior conteúdo de sílica, sódio e potássio das referidas.

Um aspeto importante é o facto de Moore (1991) destacar que grande parte da ilha de São Miguel se encontra coberta por níveis de depósitos piroclásticos (unidade p). Este material consiste principalmente em pedrapomes de composição traquítica, associada a várias erupções localizadas nos vulcões das Furnas, Fogo e Sete Cidades durante os últimos 5 mil anos.

Na bacia hidrográfica da Ribeira Grande (Fig. 3.10) as zonas mais a sul são dominadas por depósitos piroclásticos de natureza traquítica (p4t). Avançando um pouco para NW surgem unidades de escoadas constituídas por rochas de natureza traquítica a tristanítica (f3t e f3r) e alguns domos traquíticos (d3t e d6t). A parte mais a norte da bacia apresenta alguns cones de escórias e *spatter* (c5b) e escoadas lávicas (f5b) de composição basanítica. A porção final a E que forma as escoadas basálticas s.l. (f6y) foi identificada como basaltos híbridos.

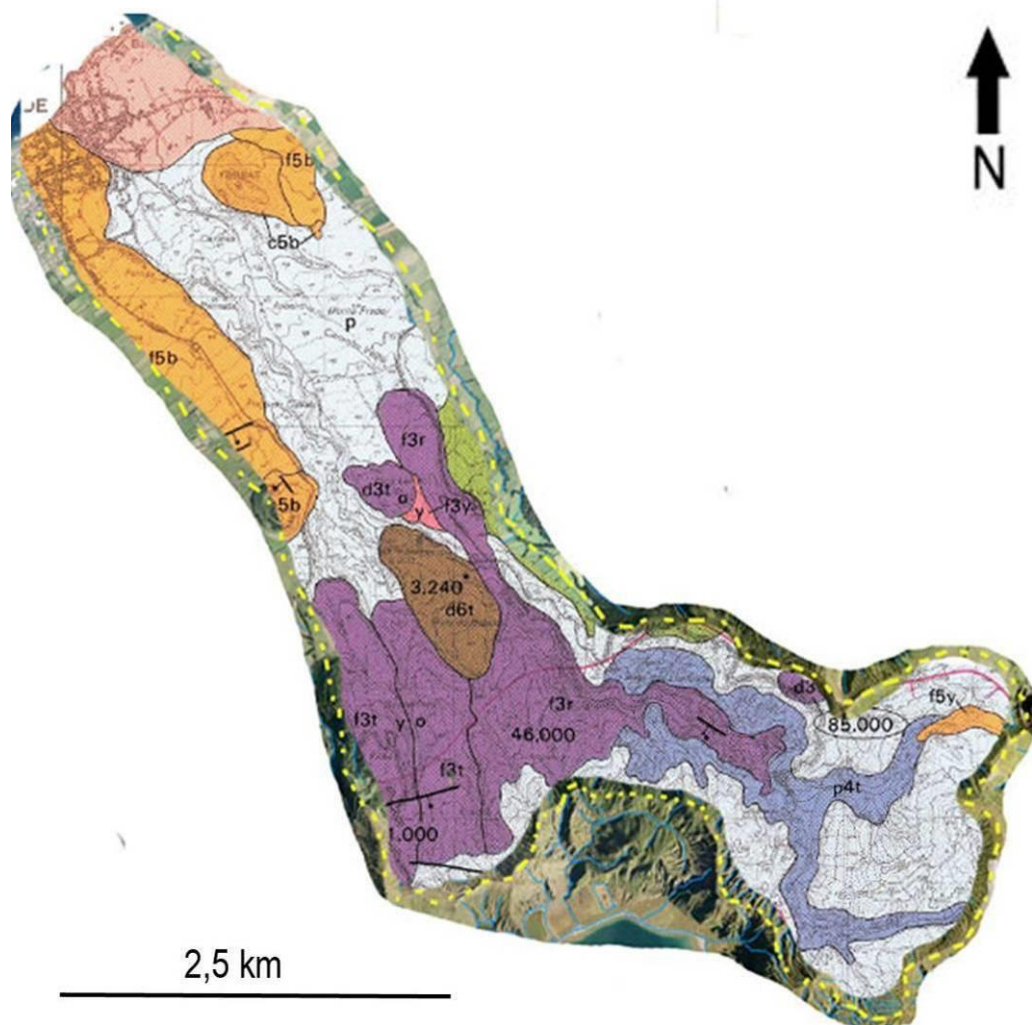


Figura 3.10 - Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água da Ribeira Grande (adaptado de Moore (1991) e <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

A bacia hidrográfica da Ribeira do Guilherme (Fig. 3.11) apresenta-se pouco variada, sendo constituída quase unicamente por escoadas basálticas *s.l.*, com escoadas entrecruzadas de material basanítico, havaítico, basaltos olivínicos alcalinos, ankaramitos e mugearitos. A unidade de depósitos piroclásticos de natureza traquítica é pouco abundante, mas visível na secção mais a oeste.

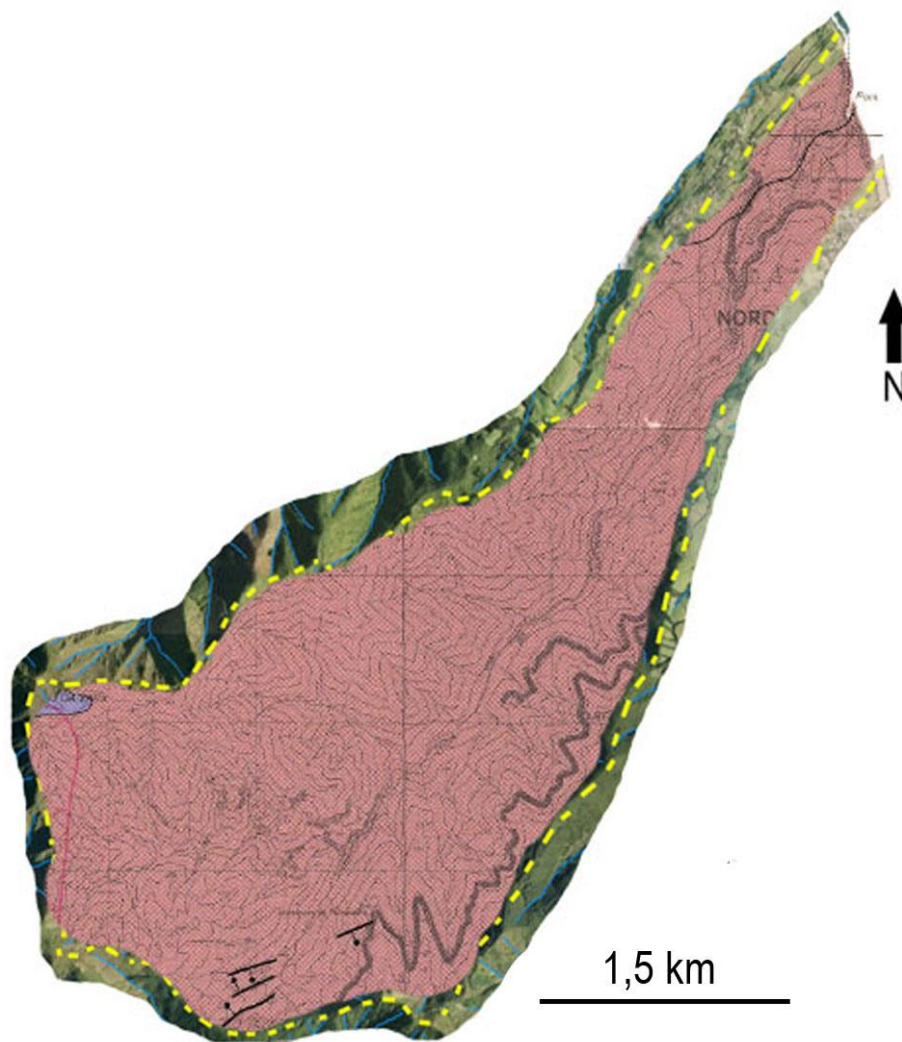


Figura 3.11 - Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica da ribeira do Guilherme (Nordeste) (adaptado de Moore (1991) e <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

A zona delimitada pela bacia hidrográfica da Ribeira da Povoação (Fig. 3.12) está significativamente coberta por depósitos da unidade p. A secção mais a norte, vizinha da bacia hidrográfica anterior, apresenta os mesmos tipos litológicos de escoadas basálticas s.l. de várias composições. Um pouco mais para sul e oeste surgem algumas estruturas de cones de escórias e spatter, com escoadas lávicas associadas, de natureza ankaramítica e mugearítica (c2a, c2m, f2m). É de destacar ainda que em grande parte da extensão da ribeira da Povoação, se observam nas vertentes os depósitos de natureza traquítica associados à formação da caldeira das Furnas, desde *mudflows* a depósitos piroclásticos de queda e *surges* (o4t).

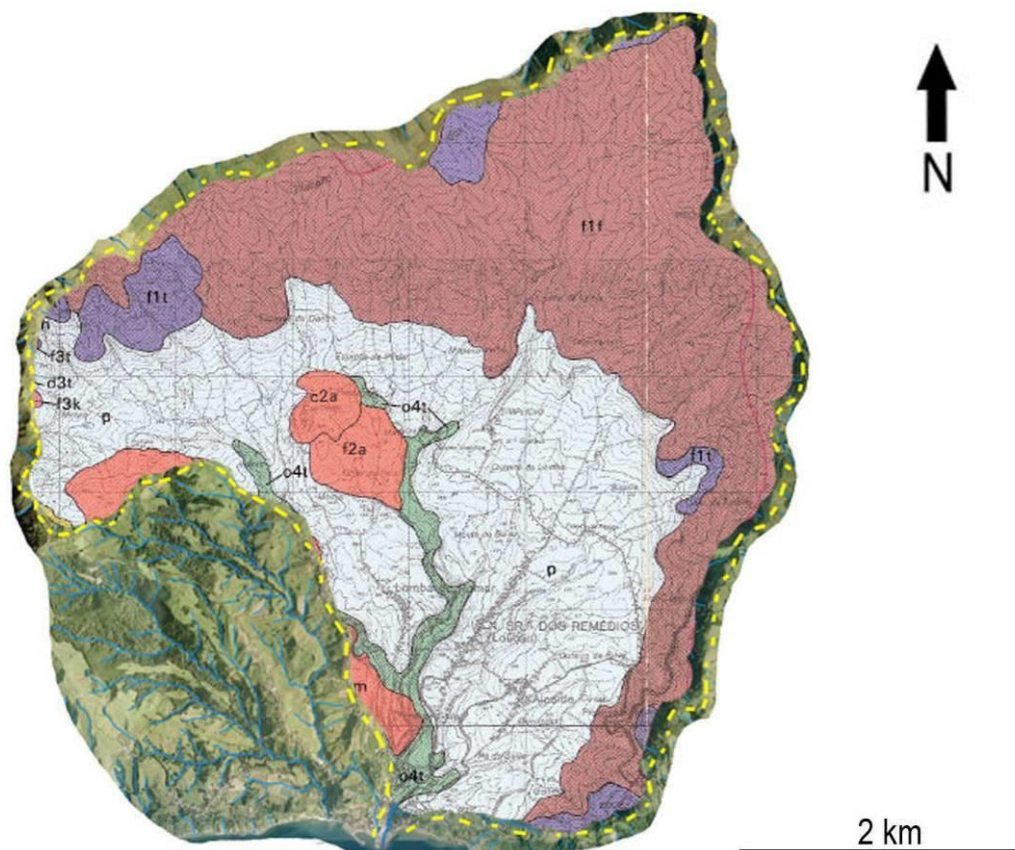


Figura 3.12 - Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água da Povoação (adaptado de Moore (1991) e <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

A bacia hidrográfica da Ribeira das Furnas (Fig. 3.13) revela-se consideravelmente coberta por depósitos piroclásticos de queda de natureza traquítica (p). A parte mais a norte da caldeira e da bacia corta unidades de escoadas lávicas de natureza basanítica a havaítica (f4h e f4b) assim como parte de um cone de natureza ankaramítica (c4a). A circundar a bacia e em grande parte do encaixe fluvial estão depósitos piroclásticos de queda e fluxo com material de natureza traquítica, associado a eventos ocorridos há cerca de 22 mil a 27 mil anos (p4t).

A parte central e sul da bacia apresenta alguns domos traquíticos, cones de pedra-pomes, e pequenas escoadas lávicas de basaltos olivínicos alcalinos (d8t, c8t, c7t e f1k).

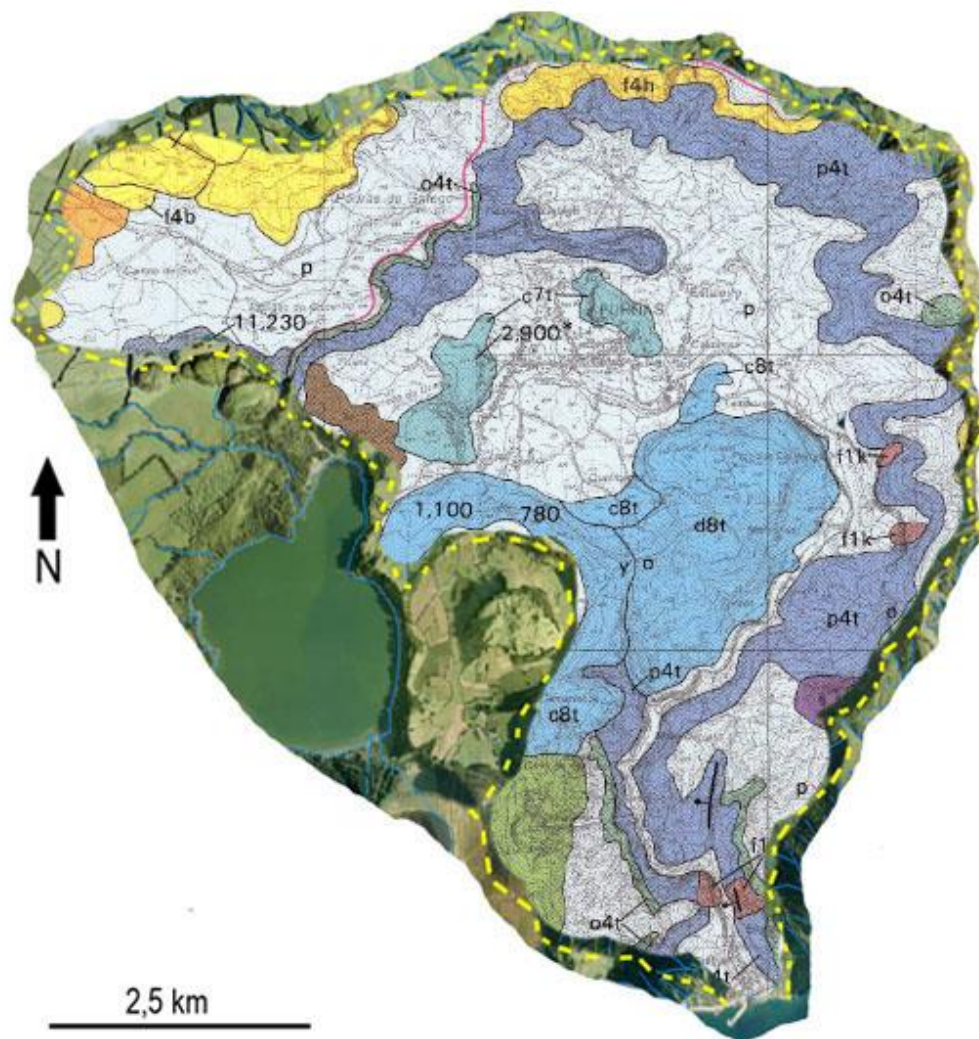


Figura 3.13 - Litologia e formas vulcânicas enquadradas na bacia hidrográfica do curso de água das Furnas (adaptado de Moore (1991) e <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

Estas variações importantes da litologia de cada uma das bacias, devem reflectir-se nas análises geoquímicas dos sedimentos e possivelmente nas características da água das ribeiras.

3.3 - Hidrologia

Seguindo vários critérios como a geomorfologia e tectónica, a litologia e estratigrafia, foram definidas em São Miguel seis zonas diferenciadas de sistemas aquíferos (Fig. 3.14). Os critérios considerados prendem-se principalmente com o modo como essas características influenciam a infiltração e circulação das águas subterrâneas. As diferentes singularidades dos depósitos vulcânicos, a alteração das rochas, a permeabilidade ou a presença de falhas, vão influenciar o tipo de aquífero e as características desse reservatório, como o tempo de residência da água ou o tempo de recarga.

Nas zonas vulcânicas em que predominam as escoadas lávicas, os aquíferos existentes estão associados à fracturação desses estratos. Por outro lado quando os estratos são constituídos principalmente por piroclastos, a circulação da água faz-se principalmente através dos poros ou vácuos entre os clastos (Carvalho, 1999). Os sistemas aquíferos definidos em São Miguel são; Sete Cidades, Ponta Delgada-Fenais da Luz, Água de Pau, Achada, Furnas-Povoação e Nordeste-Faial da Terra (Cruz,2001), com mais de 100 bacias hidrográficas independentes demarcadas.



Figura 3.14 - Sistemas Aquíferos da ilha de São Miguel (Cruz, 2003).

Os cursos de água encontram-se no geral orientados radialmente em relação aos centros altimétricos dos principais relevos vulcânicos (Fig. 3.15), sendo quase inexistentes no sistema aquífero Ponta Delgada-Fenais da Luz e relativamente abundantes pelo restante da ilha. Na sua maioria não exibem um caudal permanente, contudo mesmo cursos de água inactivos durante a maior parte do ano apresentam pontualmente caudais muito elevados com graves riscos de cheias. A maioria dos cursos de água encontra-se significativamente encaixados, denotando o seu forte papel de modelação da paisagem, com este aspeto a ser mais evidente nas zonas geologicamente mais antigas.

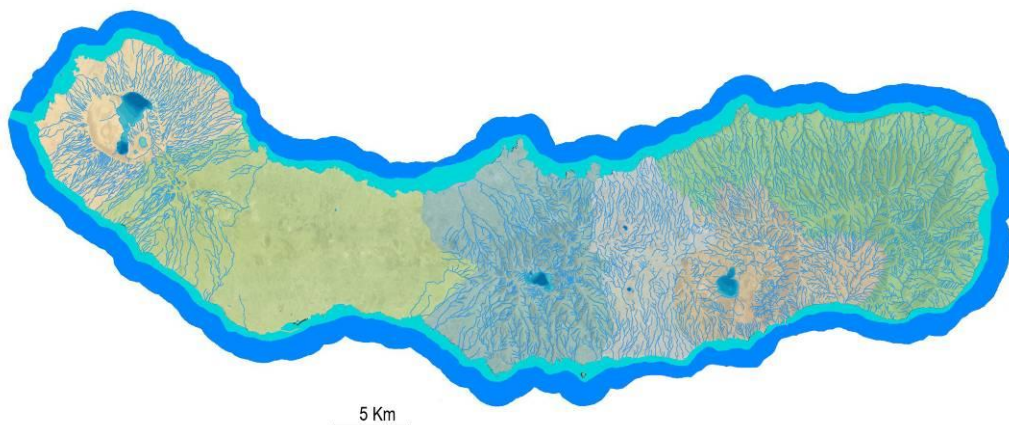


Figura 3.15 - Implantação dos cursos de água em São Miguel
(adaptado de <http://sig.sram.azores.gov.pt/>).

O Sistema Aquífero do Nordeste-Faial da Terra é o segundo mais extenso de São Miguel, com cerca de 166,5 Km². O grau de alteração das rochas é superior ao encontrado nos outros sistemas aquíferos de São Miguel e é limitado inferiormente pela base da lentícula de água doce. É um sistema aquífero misto, onde predominam os aquíferos fissurados. Estão presentes aquíferos de altitude e de base, sendo os primeiros descontínuos, ou conectados aos aquíferos de base. Pelas características litológicas os aquíferos de base podem apresentar quer elevada porosidade, quer fracturação. Contudo, a sua existência vai depender de níveis com permeabilidade muito reduzida, como por exemplo níveis de cozimento, ou alteração. Em relação ao quimismo da água das nascentes verifica-se um predomínio da fácies cloretada sódica a bicarbonatada sódica e da bicarbonatada sódica cálcica, estando também presente, a bicarbonatada cloretada sódica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero das Furnas-Povoação estende-se por cerca de 91 Km². Os seus limites correspondem, grosso modo, aos bordos das caldeiras vulcânicas das Furnas e da Povoação, e pelo limite inferior da lentícula de água doce. É um sistema aquífero misto, com aquíferos porosos e fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos requerem a existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários capazes de influenciar a circulação da água. Esta zona é extremamente rica em águas minerais, tendo sido identificadas e estudadas cerca de 45 emergências diferentes no C. V. das Furnas, e uma no C.V. da Povoação. Em relação à fácies química das nascentes analisadas verifica-se um predomínio da bicarbonatada sódica, estando também presente de modo menos representativo a bicarbonatada sódica magnésiana (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero da Achada possui uma área aflorante de aproximadamente 72 km², o menos extenso dos seis sistemas aquíferos. Como os anteriores sistemas, a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. Implanta-se numa zona de fronteira entre o complexo vulcânico de Água do Pau e os complexos das Furnas e Nordeste. Litologicamente é caracterizado por escoadas lávicas basálticas s.l., cones de escória e uma cobertura de

piroclastos de queda. Embora seja um sistema aquífero misto, predominam os aquíferos do tipo fissurado. Nos aquíferos de altitude estão presentes quer os descontínuos quer os com ligação ao aquíferos de base. Estes últimos caracterizam-se pela elevada porosidade e fissuração. As águas das nascentes enquadram-se nas fácies químicas cloretada sódica, bicarbonatada sódica e cloretada bicarbonatada sódica cálcica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero de Água de Pau estende-se por cerca de 134 km². É coincidente do ponto de vista espacial com o respectivo complexo vulcânico, e limitado pela base inferior da lentícula de água doce. É um sistema aquífero misto, com aquíferos porosos e fissurados e com aquíferos de base e altitude. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão ligados aos aquíferos de base. Os aquíferos dependem da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou estruturas vulcânicas capazes de influenciar do ponto de vista hidrogeológico estes mesmos aquíferos.

Trabalhos efectuados por Cruz *et al.* (2001) e mais recentemente por Costa (2006) e Freire (2006) referem 24 nascentes de água mineral incluindo nascentes de alta temperatura. Em relação às fácies químicas presentes verifica-se um predomínio da cloretada sódica, da cloretada bicarbonatada sódica e da bicarbonatada sódica, estando também presente, de modo menos representativo, a cloretada bicarbonatada sódica cálcica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero Ponta Delgada-Fenais da Luz possui uma área aflorante de aproximadamente 197 Km², apresentando-se como o maior de São Miguel. Enquadra-se na unidade vulcanológica dos Picos, entre os complexos vulcânicos de Água do Pau e Sete Cidades e é limitado inferiormente pela base do nível lenticular de água doce. O Sistema Aquífero Ponta Delgada-Fenais da Luz é sumariamente caracterizado do ponto de vista litológico por escoadas basálticas *s.l.*, intercaladas com depósitos piroclásticos basálticos. Os aquíferos de base deste sistema são predominantemente fissurados enquanto os aquíferos de altitude são descontínuos e dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. As fácies químicas presentes correspondem à cloretada sódica, à cloretada bicarbonatada sódica e à bicarbonatada sódica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero das Sete Cidades estende-se por cerca de 86 Km², coincidente com o complexo vulcânico com o mesmo nome. Limitado inferiormente pela base da lentícula de água doce, apresenta uma litologia variada, com domos e escoadas traquíticas, depósitos piroclásticos variados, escoadas lávicas basálticas *s.l.*, *mudflows* e cobertura piroclástica indiferenciada. É um sistema aquífero misto com aquíferos porosos e fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. O quimismo das nascentes de água enquadra-se nas fácies cloretada sódica à cloretada bicarbonatada sódica, à bicarbonatada cloretada sódica e à bicarbonatada sódica (Cruz, 2001).

4 – Metodologia

4.1.1 - Procedimentos Prévios

Antes de iniciar os trabalhos de campo efectuou-se a pesquisa bibliográfica e estabeleceram-se os objectivos que se pretendia alcançar. Seguidamente foi planeada a localização das estações e das técnicas de amostragem, e mobilizou-se o material necessário. Da mesma forma, foram decididos os testes adicionais a serem realizados no laboratório, de modo a enquadrar esses procedimentos na colheita das amostras.

Os procedimentos a adotar para o desenvolvimento do trabalho resultaram da leitura crítica de alguns trabalhos publicados sobre o tema, de entre os quais se salientam as contribuições de Freire *et al.* (2013), Cruz *et al.* (2010), Andriotti (2010), Baggio & Horn (2010), Gomes & Antunes (2010) e Viers *et al.* (2009).

4.1.2 - Trabalho de Campo

O trabalho de campo desenvolveu-se ao longo de duas campanhas em que se efectuou o registo de dados no local, análises expeditas de parâmetros físico-químicos e recolha de amostras de água e sedimentos. A primeira campanha realizou-se a 24 de Julho de 2012. Dos doze pontos de amostragem inicialmente previstos um deles acabou por ser descartado por impossibilidade de acesso.

Em cada um desses locais o primeiro passo foi a obtenção das coordenadas geográficas UTM, com auxílio de um aparelho de GPS. Em seguida foi registada a temperatura da água com um termómetro digital HANNA HI93531. Para determinar os valores de pH e condutividade eléctrica foi utilizado um medidor de pH WTW 340i, também utilizado para as análises a seguir descritas.

O pH revela a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, indicando a concentração de iões H^+ , sendo uma propriedade afectada pela temperatura. A condutividade eléctrica é a propriedade que representa a capacidade de água conduzir a corrente eléctrica, mostrando-se directamente proporcional à mineralização total da água, constituindo um meio eficaz e expedito de aferir esta última (Cruz, 1997). O dióxido de carbono encontra-se dissolvido na água sendo normalmente originado pela decomposição da matéria orgânica. Nas águas estudadas uma parte importante desse gás tem origem nos processos de desgaseificação magmática.

A concentração de dióxido de carbono livre (CO_2) foi determinada por titulação de 100 mL de amostra com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) de 1/44M. Quando o valor de pH atinge 8,3 é alcançado um equilíbrio entre o titulante gasto e a quantidade de CO_2 livre presente nessa amostra. A concentração do CO_2 em mg/L corresponde a 10 vezes o valor de titulante utilizado.

Para a determinação da alcalinidade foram necessários 100 mL de amostra e uma solução titulante de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,05 M. Neste caso é adicionado o titulante até se atingir o valor de pH 4,45 (valor para águas frias). A alcalinidade é encontrada multiplicando o valor de titulante gasto por 50. O valor de bicarbonato (HCO_3) encontrou-se multiplicando o valor da alcalinidade por 1,22.

As titulações foram efectuadas com recurso a uma multibureta digital EPPENDORF. Foi feita a recolha de 10 litros de água para filtração e análise do material em suspensão. Também se procedeu à recolha de água filtrada a $0,1 \mu m$, em frascos de polietileno de 100 mL, para análise de aniões, e de 250 mL, acidificada com ácido nítrico pró-análise, para determinação de catiões. Finalmente procedeu-se à recolha de dois dm^3 de material sedimentar do leito, em dois invólucros separados. Esta colheita foi feita na parte mais central do leito da ribeira e não nas margens.

Verificou-se que as quantidades de material em suspensão, obtidos nas condições de caudal da primeira campanha foram muito reduzidas para a metodologia aplicada na filtração. Deste modo realizou-se uma segunda campanha que decorreu a 21 de Setembro de 2012, por sinal durante a passagem da tempestade tropical Nadine.



Figura 4.1 - Aspeto do ponto de recolha da Estação 3, na zona das Lombadas aquando da segunda campanha.

O objectivo principal foi a nova recolha de 10 litros de água para filtração, num momento em que os caudais estivessem perto do máximo e a capacidade de transporte e quantidade de partículas em suspensão na água fosse mais elevada. Com esta última recolha os trabalhos de campo foram finalizados.

4.1.3 - Trabalho de Laboratório

O trabalho de laboratório iniciou-se imediatamente após a primeira campanha de amostragem. De acordo com o planeado, consistiu em três partes principais em seguida aclaradas.

4.1.3.1 - Determinação de Granulometrias e Identificação dos Sedimentos

A separação granulométrica teve como principal objectivo determinar a calibração do material. Para tal, o primeiro procedimento foi a secagem de metade do material recolhido, especificamente 1 dm³ de cada amostra. Para tal utilizou-se uma das estufas existentes no Departamento de Geociências da Universidade dos Açores. A secagem foi feita durante alguns dias, à temperatura de 50 °C, até a amostra se apresentar completamente seca. Posteriormente efetuou-se o quarteamento com recurso a um quarteador Jones. Por quarteamentos sucessivos, obtiveram-se amostras com aproximadamente 100 gramas.

De seguida este material foi peneirado de forma a separar as classes dimensionais presentes, com as malhas a abrangerem desde o -6 Φ (64 mm) até aos 4 Φ (0,062 mm), com intervalos de 0,5 Φ. O peneiramento foi efetuado por sistema de torre de peneiros e agitador, com ciclos totais de 5 minutos.



Figura 4.2 - Aspeto da torre de peneiros e agitador.



Figura 4.3 - Aspeto da identificação dos grãos.

Após a pesagem e registo efectuou-se a contagem e identificação de grãos, com o auxílio duma lupa, em cada uma das classes granulométricas de dimensões iguais ou maiores que 0Φ presentes na amostra. Foram seleccionadas sete categorias principais de alguns tipos litológicos e mineralógicos presentes.

Nas dimensões com um grande número de grãos foi feito um quarteamento até se atingir uma quantidade adequada, num número aproximado de 100 grãos, fotografando-se as amostras estudadas.

4.1.3.2 - Análises Laboratoriais Expeditas

Relativamente às amostras de sedimentos, foi efectuada a determinação do teor de matéria orgânica. Isto ocorreu após a secagem acima descrita, a que se seguiram quarteamentos sucessivos até se obter uma quantidade de aproximadamente 50 gramas de material, devidamente pesada e registada.

A este material foi adicionada água oxigenada de forma a eliminar a matéria orgânica. Para favorecer uma reacção completa continuou-se este procedimento durante dois dias com aquecimento final das amostras. Quando a água oxigenada já não provocava qualquer reacção, secaram-se as amostras novamente, pesando-se este material para determinar a matéria orgânica perdida.

Para a determinação do pH dos sedimentos, foram secas e quarteadas aproximadamente 30 gramas para cada amostra. Deixou-se repousar cada

uma das amostras de sedimentos durante 24 horas em 750 mL de água destilada. Posteriormente foram efectuadas três medições do valor de pH para cada solução, permitindo a devida estabilização dos valores de pH.

Com o objectivo de determinar a quantidade aproximada de matéria em suspensão na água recolhida, procedeu-se com a filtração a 0,02 µm dos cerca de 10 litros recolhidos em cada estação.

Contudo, na maioria dos casos, este procedimento não permitiu a recolha de quantidade suficiente de material para análise, pelo que os resultados obtidos não são apresentados. Posteriormente efectuou-se a análise química do material em suspensão nas análises laboratoriais complementares.

4.1.3.3 - Análises Laboratoriais Complementares

As amostras de água recolhidas no campo foram analisadas no laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geociências. Os aniões seleccionados foram determinados por cromatografia iónica, no DIONEX ICS-1000 (Fig. 4.4), a partir do frasco de 100 mL, conservado no frio. Os catiões foram determinados por espectrometria de absorção atómica a partir do frasco de 250 mL, num equipamento GBC 906 AA (Fig. 4.5).



Figura 4.4 - Foto do equipamento de cromatografia iónica, DIONEX ICS-1000, utilizado na determinação de aniões.



Figura 4.5 - Foto do equipamento de absorção atômica, GBC 906 AA, utilizado na determinação de cátions.

A análise quantitativa para vários elementos químicos seleccionados (10 elementos maiores e 41 elementos menores e em traço) dos sedimentos recolhidos em cada estação, foi efetuada no *Activation Laboratories*, no Canadá. Para tal os sedimentos foram devidamente secos e quarteados até se obter aproximadamente 50 gramas de material. Estas amostras foram depois trituradas e analisadas para elementos maiores e menores segundo os procedimentos de Major Elements Fusion ICP(WRA) e Trace Elements Fusion ICP/MS (WRA4B2). Os dados são obtidos através de espectrometria de massa por indução de plasma acoplado. Para além das 11 amostras de sedimentos, foram analisados por este meio quatro amostras do material em suspensão, previamente filtrado.

5 – Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1 - Resultados

5.1.1 - Parâmetros Físico-químicos e Concentrações Elementares

Como resultado das várias análises realizadas às águas de cada ribeira, obtiveram-se alguns dados relativos aos principais parâmetros físico-químicos, como por exemplo a condutividade elétrica, pH e composição química. Na tabela 5.1 são apresentados os resultados relativos à Ribeira Grande e Ribeira do Guilherme, sendo os valores respeitantes às ribeiras das Furnas e Povoação listados na tabela 5.2.

Tabela 5.1 - Características químicas fundamentais das águas da Ribeira Grande e Ribeira do Guilherme (n.a.- não amostrada; n.d.- não detectado).

Estação	1	2	3	4	5
	R. Grande			R. do Guilherme	
Nome	Foz	S. do Cabrito	Lombadas	Foz	Moinhos
Temperatura (°C)	25,60	21,70	18,20	n.a.	20,20
pH	8,97	7,29	5,20	n.a.	6,47
Condutividade (µs/cm)	428,00	426,00	295,00	n.a.	104,00
Dióxido de Carbono (mg/L)	n.a.	6,50	106,80	n.a.	7,80
Alcalinidade(mg/L)	187,00	149,00	116,00	n.a.	30,50
Bicarbonato(mg/L)	228,10	181,80	141,50	n.a.	37,20
Fluoreto(mg/L)	0,88	0,71	0,50	n.a.	n.d.
Cloreto(mg/L)	31,32	15,88	12,61	n.a.	11,96
Nitrato(mg/L)	n.d.	0,31	n.d.	n.a.	n.d.
Sulfato(mg/L)	7,48	6,70	3,78	n.a.	1,84
Cálcio(mg/L)	8,54	13,77	6,97	n.a.	5,67
Magnésio(mg/L)	5,12	6,19	2,56	n.a.	2,64
Sódio(mg/L)	69,77	72,44	41,91	n.a.	9,77
Potássio(mg/L)	13,14	11,90	21,00	n.a.	1,73
Sílica(mg/L)	59,50	77,66	80,44	n.a.	25,01

Tabela 5.2 - Características químicas fundamentais das águas da Ribeira da Povoação e Ribeira das Furnas (n.d.- não detectado).

Estação	6	7	8	9	10	11
Nome	R. da Povoação			R. da Furnas		
	Foz	Centro	Moitas	Foz	F. S. do Trigo	F. G. Patri
Temperatura (°C)	22,00	19,60	19,20	23,10	23,70	15,40
pH	7,52	7,07	6,77	6,98	6,60	6,38
Condutividade (µs/cm)	263,00	228,00	136,00	459,00	375,00	213,00
Dióxido de Carbono (mg/L)	10,10	8,80	3,30	8,30	31,00	8,40
Alcalinidade(mg/L)	72,50	74,50	24,50	177,50	160,00	65,50
Bicarbonato(mg/L)	88,50	90,90	29,90	216,60	195,20	79,90
Fluoreto(mg/L)	0,14	0,22	n.d.	1,32	0,60	0,41
Cloreto(mg/L)	18,33	17,18	12,97	29,29	24,50	14,63
Nitrato(mg/L)	5,78	7,26	0,20	3,64	3,23	6,12
Sulfato(mg/L)	4,11	3,77	2,10	8,84	6,34	4,74
Cálcio(mg/L)	24,32	16,94	8,15	16,58	14,68	5,29
Magnésio(mg/L)	9,16	6,33	4,31	5,78	6,44	3,24
Sódio(mg/L)	20,88	20,68	9,83	82,33	53,78	28,85
Potássio(mg/L)	3,91	4,62	2,87	11,95	10,89	10,74
Sílica(mg/L)	50,80	54,39	32,32	67,93	69,64	57,48

5.1.2 - Análises Geoquímicas dos Sedimentos

O material sedimentar recolhido nas 11 estações de amostragem foi submetido a várias análises laboratoriais. O conteúdo em matéria orgânica e pH é apresentado na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Conteúdo em matéria orgânica e pH das amostras de sedimentos.

Nome	Estação	Amostra analisada(g)	Matéria Orgânica(g)	Matéria Orgânica (%)	pH
R. Grande Foz	1	52,27	0,60	1,15	7,23
R. Grande S. do Cabrito	2	53,90	2,30	4,27	7,18
R. Grande Lombadas	3	58,32	2,87	4,93	7,17
R. do Guilherme Foz	4	56,79	1,26	2,21	6,53
R. do Guilherme Moinhos	5	59,97	0,87	1,46	6,68
R. da Povoação Foz	6	56,93	0,53	0,93	6,64
R. da Povoação Centro	7	54,45	1,23	2,26	6,96
R. da Povoação Moitas	8	51,25	1,59	3,09	6,73
R. das Furnas Foz	9	51,42	27,86	54,19	6,82
R. das Furnas F. S. Trigo	10	52,52	2,19	4,18	6,68
R. das Furnas F. G. Patri	11	53,88	3,11	5,77	6,62

Também foi efectuada a determinação da composição química dos sedimentos de fundo e suspensão, relativa aos elementos maiores e menores. As concentrações na foz de cada ribeira e das amostras de material em suspensão são apresentados nas tabelas 5.4 e 5.5. Os restantes resultados relativos às estações 2,3,5,7,8,10 e 11 são apresentados nos Anexos.

Tabela 5.4 - Concentrações percentuais dos elementos maiores, dos sedimentos recolhidos na foz de cada ribeira e do material em suspensão (n.d.- não detectada).

Elementos Maiores (%) (Óxidos)	R. Grande FOZ	R. do Guilherme FOZ	R. da Povoação FOZ	R. da Furnas FOZ	R. da Furnas Foz (Susp.)	R. Grande S. do Cabrito (Susp.)	R. Grande Foz (Susp.)	Ri. da Povoação (Susp.)
	Estações							
	1	4	6	9	9	2	1	6+7+8
SiO ₂	62,68	48,1	52,71	58,32	51,31	57,11	52,51	48,89
Al ₂ O ₃	16,74	14,93	15,44	16,62	12,67	16,86	16,54	17,6
Fe ₂ O ₃ (T)	4,67	12,96	9,72	5,93	9,86	5,55	4,54	6,55
MnO	0,181	0,16	0,158	0,172	0,489	0,217	0,16	0,223
MgO	1,05	5,83	4,84	1,95	0,55	0,76	0,75	1,15
CaO	1,84	7,93	6,41	3,77	1,36	1,61	1,62	1,81
Na ₂ O	5,41	2,64	3,54	4,96	3,79	4,11	3,69	3,53
K ₂ O	5,41	1,97	3,08	4,79	3,35	4,77	4,24	3,48
TiO ₂	0,909	3,605	2,692	1,681	0,524	0,859	0,878	1,181
P ₂ O ₅	0,14	0,52	0,5	0,36	0,6	0,21	0,38	0,3
Perda por Ignição	0,94	2,35	0,99	1,18	14,74	7,58	13,22	n.d.
Total	99,98	101	100,1	99,73	99,25	99,64	98,52	84,71

Tabela 5.5 - Concentrações dos elementos menores em ppm, relativas às amostras de sedimentos recolhidos na foz das ribeiras e do material em suspensão.

Elementos (ppm)	R. Grande Foz	R. do Guilherme Foz	R. da Povoação Foz	R. da Furnas Foz	R. da Furnas Foz (Susp.)	R. Grande S. do Cabrito (Susp.)	R. Grande Foz (Susp.)	Ribeira da Povoação (Susp.)
	1	4	6	9	9	2	1	6+7+8
V	34	293	202	95	43	31	33	65
Ba	281	500	560	609	158	285	271	265
Sr	141	491	533	454	99	148	150	188
Y	43	33	35	41	46	49	50	59
Zr	832	389	505	808	633	967	935	1072
Cr	40	260	250	80	< 20	< 20	< 20	50
Co	4	38	27	10	4	4	4	9
Ni	< 20	100	90	< 20	< 20	< 20	< 20	20
Cu	< 10	60	30	80	20	20	20	40
Zn	120	120	110	130	140	140	150	80
Ga	31	24	24	28	24	29	29	33
Ge	2	2	2	2	3	2	2	2
As	< 5	< 5	< 5	< 5	57	< 5	< 5	< 5
Rb	149	45	87	145	129	155	144	135
Nb	128	68	90	150	141	150	148	207
In	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Sn	5	2	3	4	6	7	5	15
Sb	0,6	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Cs	1,6	< 0,5	0,8	1,7	2,1	3,1	3	1,8
La	107	57,5	84,2	117	122	129	126	162
Ce	212	106	144	220	234	241	243	314
Pr	22,8	13,5	17,8	23,7	23,6	25,6	25,6	30,9
Nd	75,5	50	63,2	81,5	78,4	85,8	85,4	106
Sm	13,5	10	11,8	13,6	12,8	14,4	14,6	17,8
Eu	1,92	2,96	3,23	2,75	1,18	1,9	1,84	1,96
Gd	10,3	8,6	9,9	10,2	10,1	11,3	11,4	13,4
Tb	1,6	1,3	1,4	1,6	1,5	1,8	1,7	2,1
Dy	9,3	7,1	7,5	8,9	8,8	9,7	9,7	11,1
Ho	1,7	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,8	2,2
Er	4,8	3,3	3,6	4,4	4,8	5	5	5,9
Tm	0,69	0,46	0,49	0,62	0,69	0,71	0,73	0,82
Yb	4,2	2,7	3	3,7	4,3	4,5	4,6	5,3
Lu	0,66	0,41	0,44	0,57	0,64	0,67	0,68	0,84
Hf	17,2	8,5	10,6	15,7	12,4	19,6	19,1	24,5
Ta	8,7	4,5	5,9	9,6	10,5	10,2	10,1	11,6
W	2	< 1	< 1	2	4	2	2	4
Tl	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pb	10	< 5	6	11	7	10	10	< 5
Bi	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Th	17,2	7,6	10,2	16,1	16,8	23,6	23,5	24,5
U	4,3	1,8	2,6	4,2	4,9	5,9	5,9	6,3

5.1.3 - Granulometria

Foi aplicada uma crivagem aos sedimentos, entre as dimensões de malha -5 a 4 Φ . Cada fracção foi pesada, sendo os resultados obtidos apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Peso das fracções granulométricas das amostras de sedimentos (g)

Nome	Estação											
	R. Grande Foz	R. Grande S. do Cabrito	R. Grande Lombadas	R. do Guilherme Foz	R. do Guilherme Moinhos	R. da Povoação Foz	R. da Povoação Centro	R. da Povoação Moitas	R. da Furnas Foz	R. das Furnas F. S. Trigo	R. das Furnas F. G. Patri	
Malha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Φ (mm)												
-5	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-4.5	22,63	0,00	0,00	0,00	0,00	15,28	0,00	0,00	0,00	0,00	4,39	0,00
-4	16	0,00	0,00	15,96	0,00	0,00	0,00	5,35	0,00	7,15	0,00	0,00
-3.5	11,31	5,80	0,00	0,00	0,00	3,09	21,92	0,00	7,59	0,00	0,00	1,38
-3	8	8,08	0,54	5,31	0,00	13,67	12,43	4,90	5,18	3,61	2,48	1,14
-2.5	5,66	12,97	1,28	7,42	0,49	24,86	9,60	3,01	5,08	4,02	1,89	1,93
-2	4	13,65	2,62	8,35	2,45	15,83	7,98	3,45	5,73	2,64	2,59	2,81
-1.5	2,83	15,34	7,84	8,58	8,01	16,40	6,92	5,72	4,16	3,79	5,52	5,19
-1	2	9,70	10,26	6,97	12,84	7,64	5,79	4,96	2,23	4,25	5,80	5,13
-0.5	1,41	10,12	18,37	6,90	21,85	2,93	7,55	10,04	6,36	10,55	10,04	7,78
0	1	6,20	13,73	5,82	13,21	0,75	5,23	8,95	9,07	12,60	9,63	7,44
0.5	0,71	6,47	13,87	8,41	8,54	0,136	6,08	9,81	15,10	16,42	11,51	8,99
1	0,5	4,92	10,88	7,13	3,00	0,03	5,19	10,04	13,30	12,14	10,51	9,02
1.5	0,35	6,35	8,48	6,05	1,07	0,02	4,59	11,29	10,96	10,04	9,02	10,84
2	0,25	3,98	3,11	3,63	0,19	0,01	1,92	8,23	4,06	4,10	4,05	6,58
2.5	0,18	1,72	1,19	2,16	0,03	0,00	0,37	5,43	1,68	1,71	1,69	3,20
3	0,13	0,34	0,37	1,11	0,010	0,00	0,04	3,14	0,68	0,70	0,73	1,03
3.5	0,09	0,06	0,08	0,47	0,00	0,00	0,01	1,45	0,31	0,26	0,20	0,19
4	0,06	0,03	0,03	0,26	0,00	0,00	0,01	0,96	0,20	0,12	0,06	0,06
Fundo		0,09	0,02	0,17	0,00	0,02	0,01	1,42	0,30	0,08	0,03	0,05
Peso Inicial		105,83	93,73	96,77	71,86	100,55	95,72	98,94	92,68	94,11	81,07	73,51
Peso Final		105,72	92,63	94,53	71,70	100,52	95,60	96,73	91,69	94,10	80,10	72,70
Perda %		0,10	1,17	2,31	0,22	0,03	0,12	2,23	1,06	0,01	1,20	1,10

5.1.4 - Identificação e Contagem dos Grãos

As várias fracções granulométricas obtidas por peneiragem até ao crivo 0 Φ (1 mm), foram classificadas quanto às principais fases minerais e fragmentos líticos presentes. Estes resultados são expostos nas tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 5.7 - Identificação e contagem dos grãos na R. Grande e na Ribeira do Guilherme.

Estação	Denominação	Malha		Quarteamento (%)	Minerais Principais						Outros	Total de Grãos		
		Φ	mm		Feldspatos	Piroxenas	Olivinas	Pedra-pomes	Líticos	Obsidiana			Escórias	
1	R. Grande	Foz	-3,5	11,3	100	0	0	0	0	2	0	0	0	2
			-3	8,0	100	0	0	0	0	7	0	1	0	8
			-2,5	5,7	100	0	0	0	0	25	1	3	1	30
			-2	4,0	100	0	0	0	1	79	0	1	0	81
			-1,5	2,8	100	2	0	0	4	104	3	0	0	113
			-1	2,0	100	8	0	0	6	121	3	0	0	138
			-0,5	1,4	100	17	0	0	0	148	0	0	0	165
			0	1,0	100	54	0	0	4	137	0	0	0	195
2	R. Grande	Salto do Cabrito	-3	8,0	100	0	0	0	1	0	0	0	0	1
			-2,5	5,7	100	0	0	0	6	1	0	0	0	7
			-2	4,0	100	0	0	0	21	7	0	2	0	30
			-1,5	2,8	50	0	0	0	74	34	0	7	0	115
			-1	2,0	25	5	0	0	139	26	4	3	0	177
			-0,5	1,4	12,5	24	0	0	186	55	8	11	0	284
0	1,0	6,25	58	0	0	147	169	21	26	0	421			
3	R. Grande	Lombadas	-4	16,0	100	0	0	0	3	0	0	0	0	3
			-3	8,0	100	0	0	0	9	1	0	0	0	10
			-2,5	5,7	100	0	0	0	15	12	0	0	0	27
			-2	4,0	100	0	0	0	27	34	0	0	0	61
			-1,5	2,8	100	1	0	0	46	54	1	0	0	102
			-1	2,0	25	1	0	0	28	49	2	0	0	80
			-0,5	1,4	12,5	14	0	0	51	79	3	0	0	147
0	1,0	6,25	51	0	1	35	68	3	0	0	158			
4	R. Guilherme	Foz	-2,5	5,7	100	0	0	0	0	1	0	0	0	1
			-2	4,0	100	0	0	0	1	16	0	1	0	18
			-1,5	2,8	50	0	0	0	2	69	0	2	0	73
			-1	2,0	25	0	1	0	3	138	1	0	0	143
			-0,5	1,4	12,5	0	14	1	1	248	0	0	1	265
			0	1,0	6,25	2	12	2	1	199	0	0	0	216
5	R. Guilherme	Moinhos	-4,5	22,6	100	0	0	0	0	1	0	0	0	1
			-3,5	11,3	100	0	0	0	0	1	0	0	0	1
			-3	8,0	100	0	0	0	0	9	0	1	0	10
			-2,5	5,7	100	0	0	0	0	55	0	2	1	58
			-2	4,0	100	0	0	0	1	67	0	4	0	72
			-1,5	2,8	50	0	2	0	0	119	0	2	0	123
			-1	2,0	50	0	13	2	1	163	0	7	0	186
			-0,5	1,4	50	0	23	7	1	124	0	2	0	157
0	1,0	50	1	41	16	0	75	0	0	0	133			

Tabela 5.8 - Identificação e contagem dos grãos na Ribeira da Povoação e Ribeira das Furnas.

Estação	Denominação	Malha		Quarteamento(%)	Minerais							Total de Grãos		
		Φ	mm		Principais			Pedra-pomes	Lífticos	Obsidiana	Escórias		Outros	
					Feldspatos	Piroxenas	Olivinas							
6	R. Povoação	Foz	-3,5	11,3	100	0	0	0	0	4	0	1	0	5
			-3	8,0	100	0	0	0	0	10	0	0	0	10
			-2,5	5,7	100	0	0	0	0	22	0	4	0	26
			-2	4,0	100	0	0	0	1	50	0	4	0	55
			-1,5	2,8	100	0	0	0	7	99	0	11	0	117
			-1	2,0	50	0	0	0	0	103	1	11	0	115
			-0,5	1,4	25	2	3	1	28	188	0	14	0	236
			0	1,0	12,5	16	3	5	18	171	0	12	0	225
7	R. Povoação	Centro	-4	16,0	100	0	0	0	0	1	0	0	0	1
			-3	8,0	100	0	0	0	0	4	0	0	0	4
			-2,5	5,7	100	0	0	0	0	8	0	0	0	8
			-2	4,0	100	0	0	0	1	20	0	1	0	22
			-1,5	2,8	100	1	4	0	3	117	0	6	1	132
			-1	2,0	50	2	3	2	19	85	0	6	0	117
			-0,5	1,4	12,5	9	9	4	24	111	0	0	0	157
			0	1,0	12,5	25	32	18	83	237	0	0	0	395
8	R. Povoação	Moita	-3,5	11,3	100	0	0	0	0	3	0	0	0	3
			-3	8,0	100	0	0	0	1	4	0	2	0	7
			-2,5	5,7	100	0	0	0	1	10	0	3	0	14
			-2	4,0	100	0	0	0	2	35	0	3	0	40
			-1,5	2,8	100	0	0	0	7	70	0	12	0	89
			-1	2,0	50	0	1	0	6	57	0	2	1	67
			-0,5	1,4	25	1	6	5	32	135	0	0	0	179
			0	1,0	12,5	9	8	7	13	211	0	0	0	248
9	R. Furnas	Foz	-4	16,0	100	0	0	0	0	1	0	0	0	1
			-3	8,0	100	0	0	0	0	2	0	0	0	2
			-2,5	5,7	100	0	0	0	0	9	0	0	0	9
			-2	4,0	100	0	0	0	0	16	0	0	0	16
			-1,5	2,8	100	0	0	0	1	29	1	1	0	32
			-1	2,0	50	0	0	0	1	83	1	3	0	88
			-0,5	1,4	25	1	0	2	15	158	2	0	0	178
			0	1,0	12,5	2	0	4	63	183	5	0	0	257
10	R. Furnas	F.te Serra do Trigo	-4,5	22,6	100	0	0	0	1	0	0	0	0	1
			-3	8,0	100	0	0	0	2	2	0	0	0	4
			-2,5	5,7	100	0	0	0	7	3	0	0	0	10
			-2	4,0	100	0	0	0	22	10	0	0	0	32
			-1,5	2,8	100	1	0	0	64	89	1	10	0	165
			-1	2,0	50	0	0	0	57	158	1	5	2	223
			-0,5	1,4	12,5	1	0	0	92	115	1	4	0	213
			0	1,0	6,25	22	17	1	58	147	0	0	0	245
11	R. Furnas	F.te Glória Patri	-3,5	11,3	100	0	0	0	2	0	0	0	0	2
			-3	8,0	100	0	0	0	3	0	0	0	0	3
			-2,5	5,7	100	0	0	0	8	1	0	0	1	10
			-2	4,0	100	0	0	0	13	15	1	1	1	31
			-1,5	2,8	100	1	0	0	65	74	2	0	1	143
			-1	2,0	25	1	0	0	34	54	0	1	1	91
			-0,5	1,4	12,5	13	0	0	72	136	2	0	0	223
			0	1,0	6,25	9	0	0	58	76	3	0	0	146

5.2 - Discussão

5.2.1 - Parâmetros Físico-químicos e Concentrações Elementares das Amostras de Água.

As temperaturas amostradas mostram uma variação apreciável, com um amplitude de valores de valores entre os 15,4 e os 25,6°C (Fig. 5.1). Nos três cursos de água analisados, verifica-se um aumento da temperatura na direcção da foz. Este aumento é devido à progressiva exposição à temperatura exterior. Contudo na estação 10 da ribeira das Furnas, a temperatura é ligeiramente mais alta do que na foz. Isto pode dever-se quer a nascentes termais presentes na zona analisada ou directamente a montante, quer a uma contribuição adicional de afluentes de água mais fria, antes da chegada à foz. Caso o valor anómalo se deva a nascentes de água quente, reflecte a actividade hidrotermal já conhecida para a zona das Furnas. A temperatura da água nas estações de Foz aproxima-se sempre da exterior, enquanto mais a montante é influenciada pela temperatura mais baixa das nascentes.

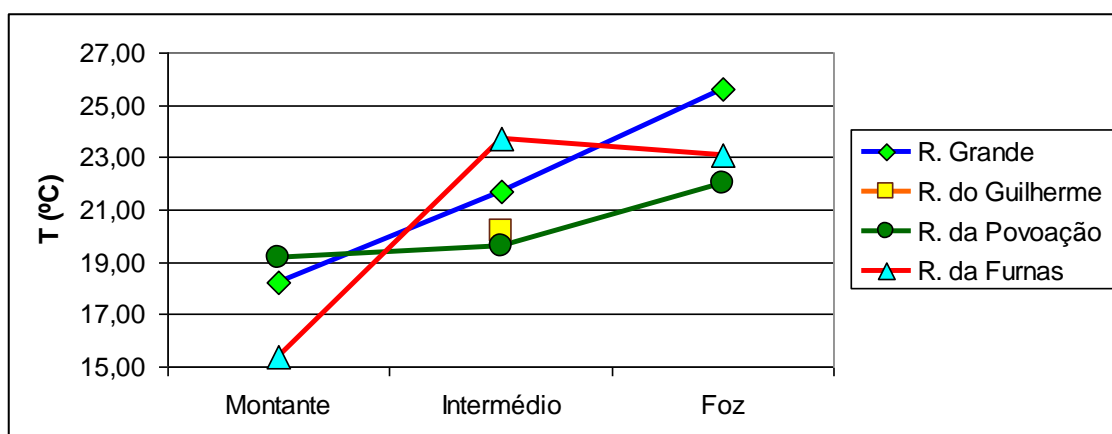


Figura 5.1 - Variação da temperatura nos cursos de água estudados.

A condutividade apresentou valores entre os 104 e 459 $\mu\text{S}/\text{cm}$, notando-se um progressivo aumento na direcção da foz (Fig.5.2). As amostras visivelmente mais carregadas de sedimentos em suspensão, mostram um correspondente valor mais elevado de condutividade.

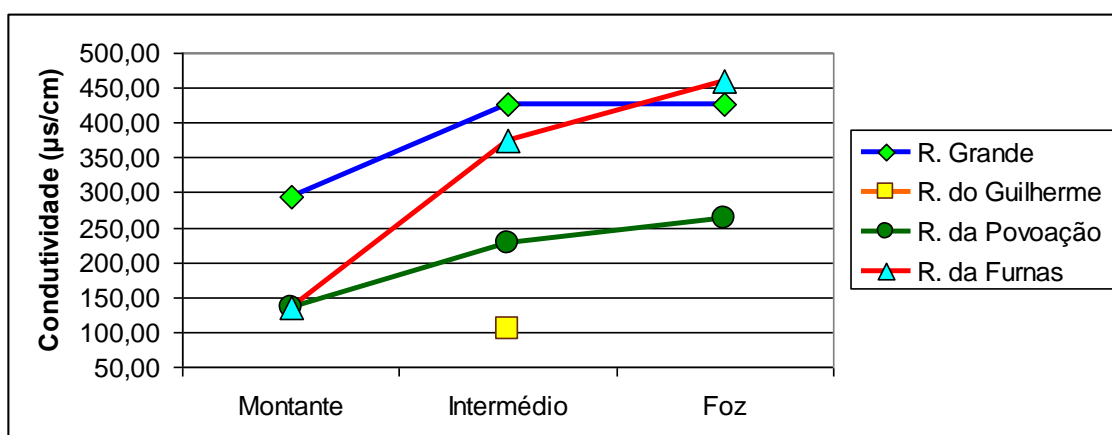


Figura 5.2 - Variação da condutividade nos cursos de água estudados.

O pH varia entre os 8,97 e os 5,2, respectivamente para a estação 1 e 3 da Ribeira Grande (Fig. 5.3). Nas outras ribeiras os valores de pH aproximam-se da neutralidade. Em todas as ribeiras, o pH torna-se mais básico de montante para jusante. Isto pode dever-se quer à perda de CO_2 , cuja presença potencialmente acidifica a água, quer à contribuição de afluentes de características químicas alcalinas. Na estação 3, das Lombadas, o valor de pH poderá dever-se a uma contribuição directa de emissores de CO_2 , presentes no leito da ribeira. Na estação 10, mais próxima do campo fumarólico das Furnas, não é notável um pH anormal.

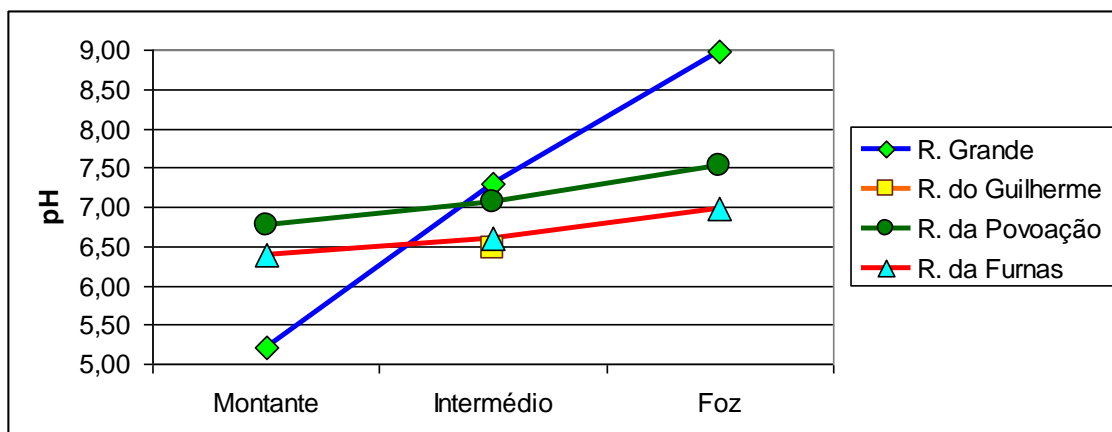


Figura 5.3 - Variação do pH nos cursos de água estudados.

Relativamente ao dióxido de carbono livre (CO_2), os valores predominantes aproximam-se dos 8 mg/L (Fig. 5.13). Contudo quer na estação 3, quer na estação 10, estes valores são consideravelmente ultrapassados, respectivamente com 31 e 106 mg/L de CO_2 . Isto era esperado pois são zonas activas de desgaseificação, com nascentes locais muito ricas em dióxido de carbono. A presença de valores anómalos de CO_2 em certos pontos dos cursos de água amostrados pode confirmar a influência de processos de vulcanismo secundário em águas de superfície.

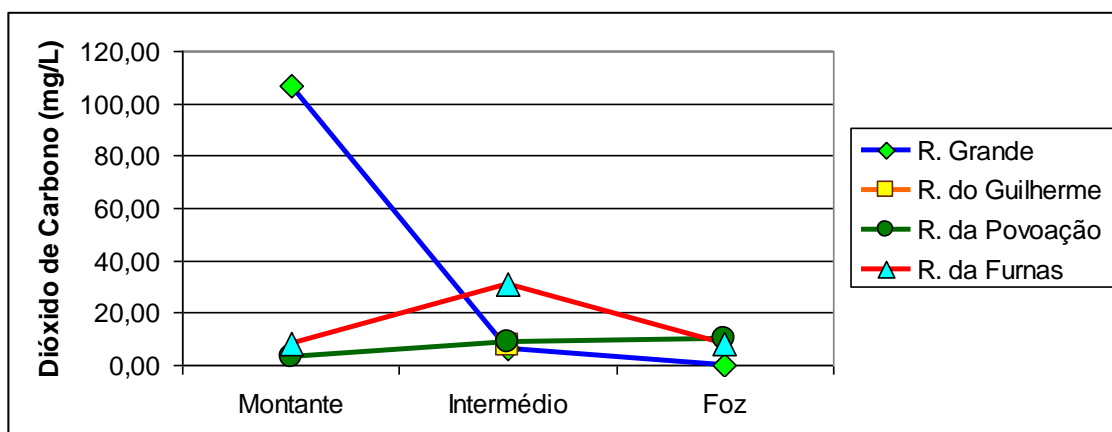


Figura 5.4 - Variação da concentração do CO_2 .

A alcalinidade medida e o correspondente valor de HCO_3^- aferido (Fig. 5.5), apresentou na maioria dos casos uma gradação positiva na direcção da Foz.

Os valores de HCO_3^- variam entre os 30 mg/L na estação 8 e o máximo de 228 na estação 1, foz da Ribeira Grande.

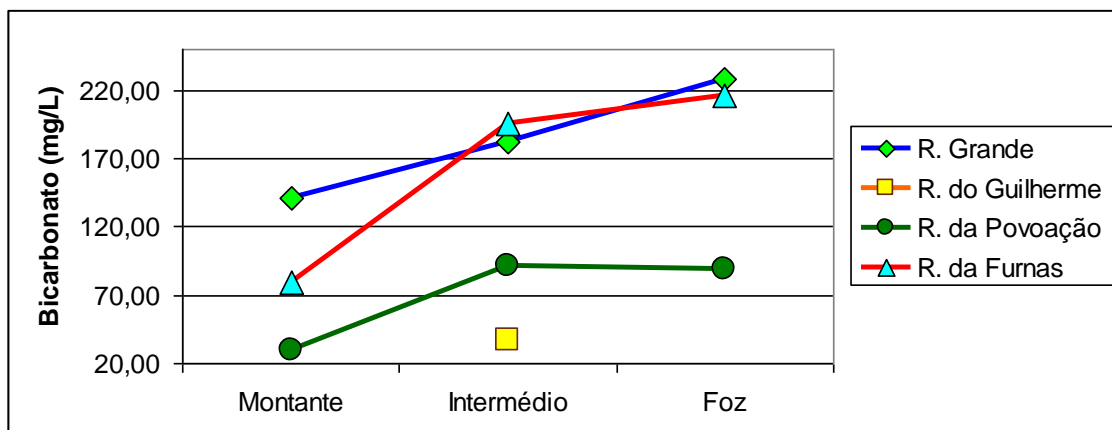


Figura 5.5 - Variação da concentração do bicarbonato.

A concentração do ião fluoreto (F^-) apresentou um máximo de 1,32 mg/L na estação 9 e um mínimo de valor zero na estação 6. No geral denota um aumento da sua concentração na direcção da foz (Fig. 5.6).

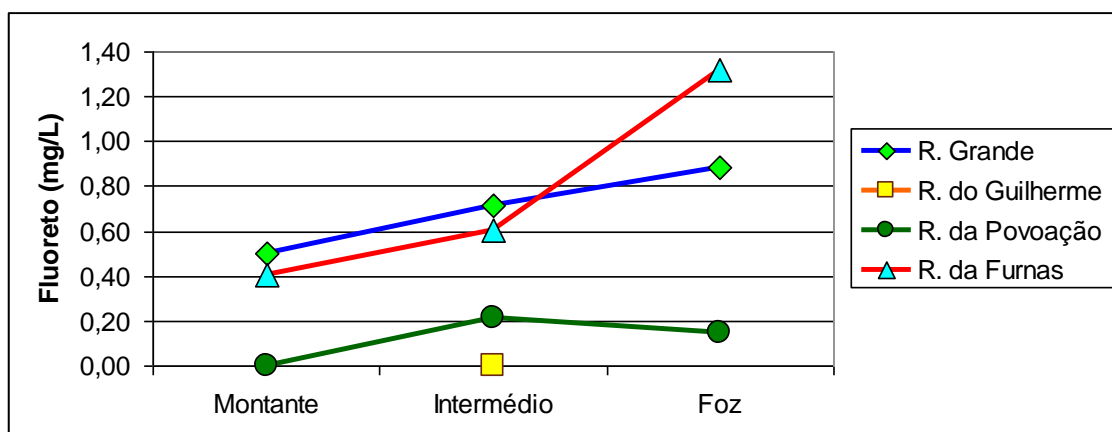


Figura 5.6 - Variação da concentração do fluoreto.

O ião cloreto (Cl^-), reflete a mesma tendência de enriquecimento na direcção da Foz, com valores amostrados a variar entre os 31 e 13 mg/L, respectivamente na estação 1 e estação 5 (Fig. 5.7). Apresenta alguma correlação com a condutividade.

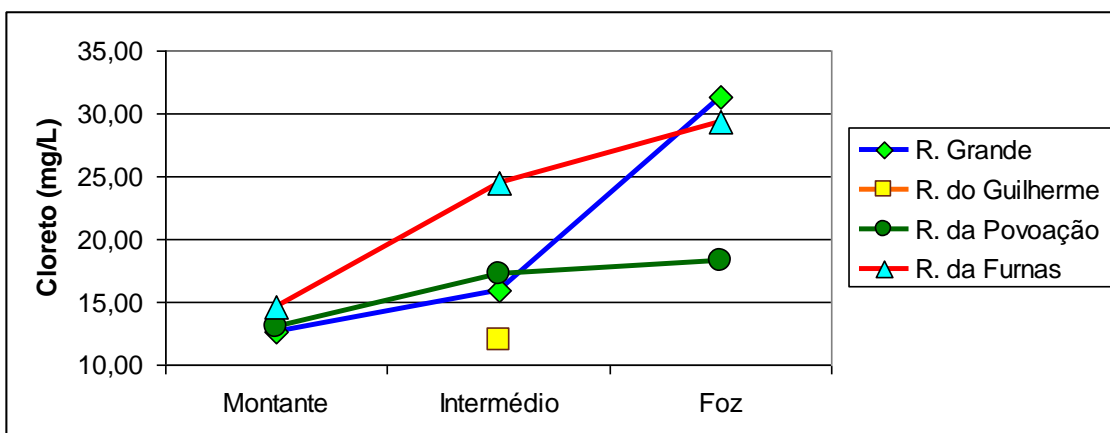


Figura 5.7 - Variação da concentração do cloreto.

O ião sulfato (SO_4^{2-}), apresentou valores entre o mínimo de 1,84 mg/L na estação 5 e 8,83 mg/L na estação 9. Em todas as ribeiras, nota-se um claro aumento na direcção da Foz (Fig. 5.8).

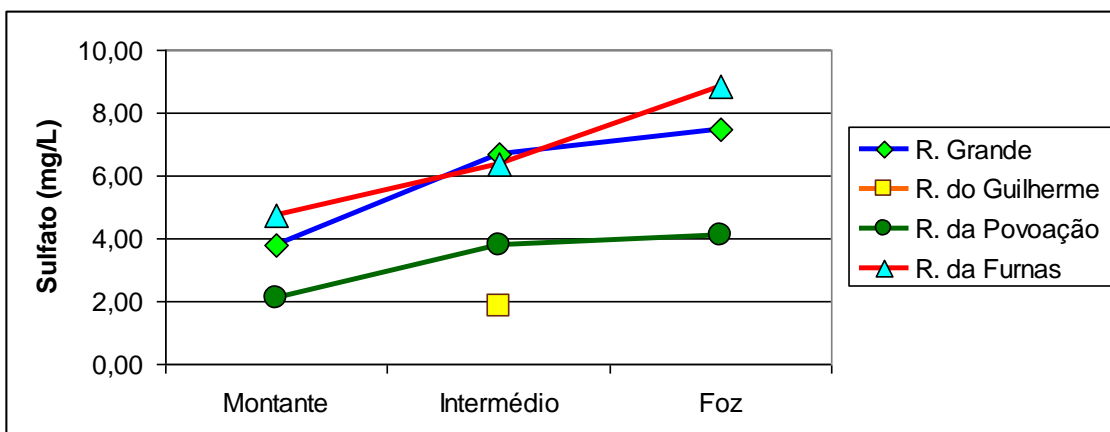


Figura 5.8 – Variação da concentração do sulfato.

O nitrato (NO_3^-) apresentou um mínimo de 0 em algumas estações e um máximo de 7,26 mg/L na estação 7. Pelos dados obtidos, a concentração desta molécula depende grandemente da influência local, e não da localização mais a jusante ou montante do ponto amostrado (Fig. 5.9).

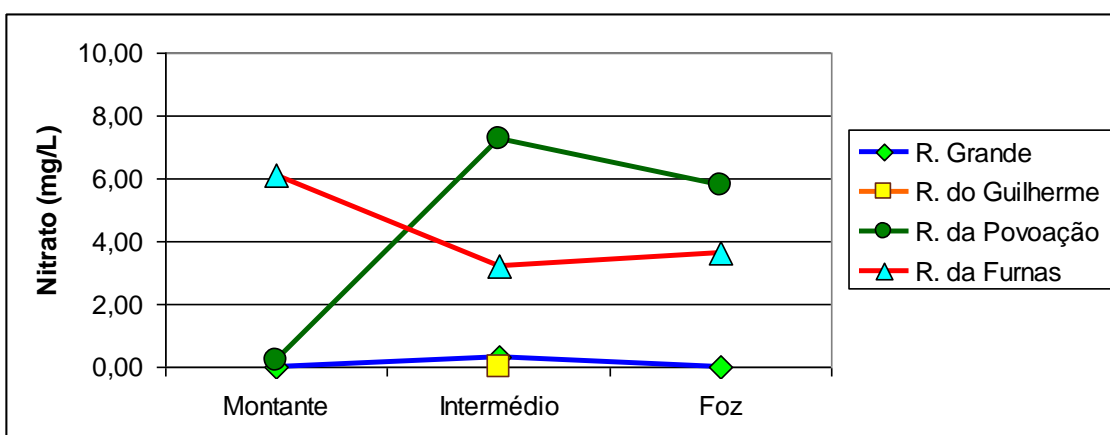


Figura 5.9 - Variação da concentração do nitrato.

O cálcio (Ca^{2+}) apresentou valores entre os 5 e os 24 mg/L com uma tendência geral para o aumento ao longo do curso de água. O magnésio apresentou um comportamento semelhante ao cálcio, embora com máximo 9,16 e mínimo 2,56 mg/L (Fig. 5.10 e 5.11).

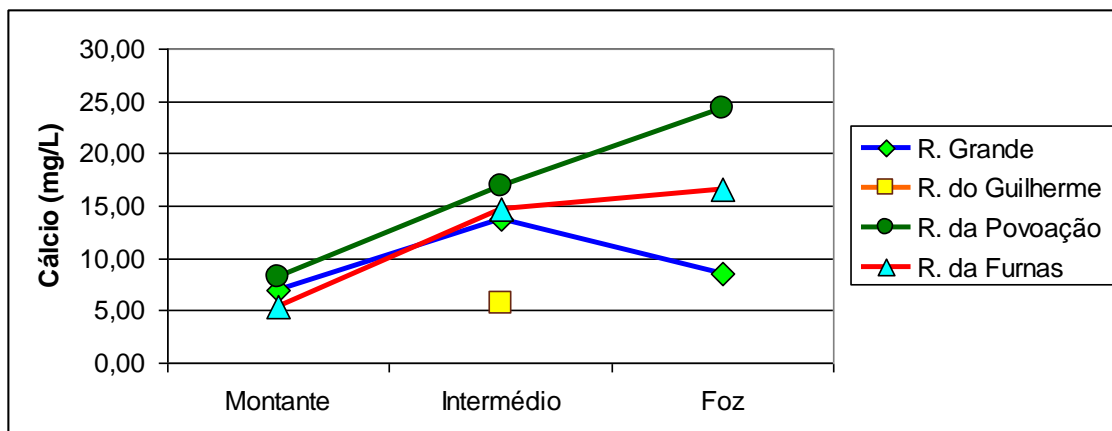


Figura 5.10 - Variação da concentração do cálcio.

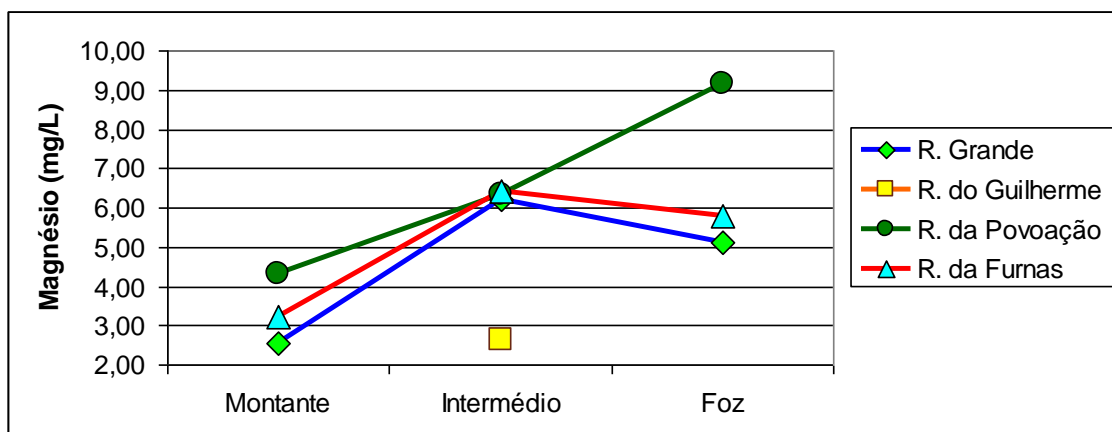


Figura 5.11 - Variação da concentração do magnésio.

Quanto ao valor de sílica (SiO_2), variou entre um mínimo de 25,01 mg/L para a estação 5 e um máximo de 80,44 para a estação 3 (Fig. 5.12). No curso de água da Ribeira Grande registaram-se os valores absolutos mais elevados, com uma diminuição de SiO_2 , na direcção da Foz. Nos outros cursos de água não se verificou essa tendência.

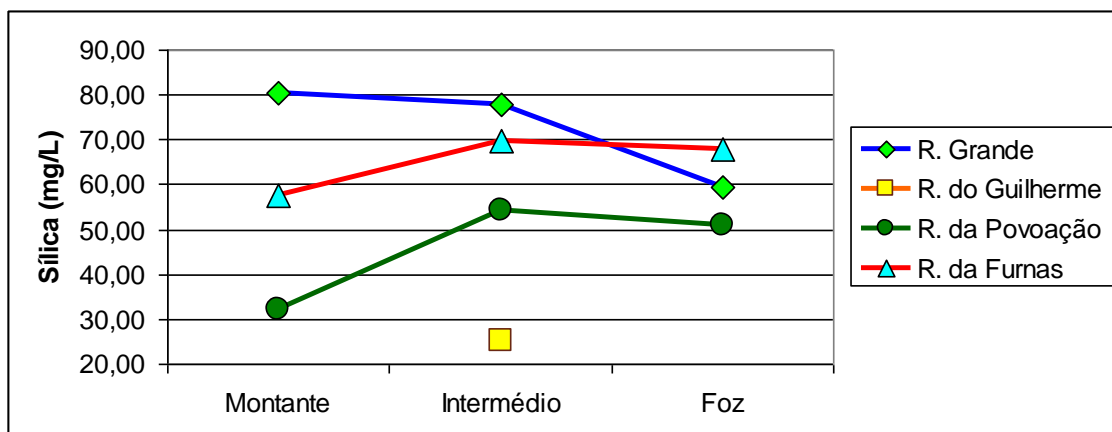


Figura 5.12 - Variação da concentração em sílica.

O sódio (Na^+) variou entre 82,33 mg/L na estação 9, a 9,77 mg/L na estação 5. Nota-se uma tendência geral para o enriquecimento neste ião na direção da foz, com a Ribeira Grande e a Ribeira das Furnas a apresentarem os valores mais elevados (Fig. 5.13).

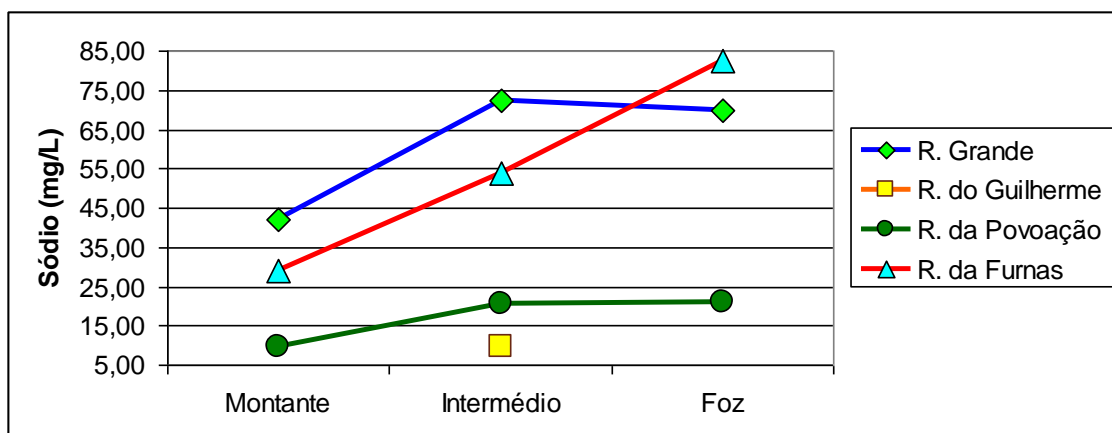


Figura 5.13 - Variação da concentração do sódio.

O potássio (K^+), variou entre os 1,73 mg/L e os 21 mg/L. Também se nota uma tendência de enriquecimento na direcção da Foz, com as ribeiras das Furnas e Ribeira Grande a apresentarem valores mais elevados (Fig. 5.14).

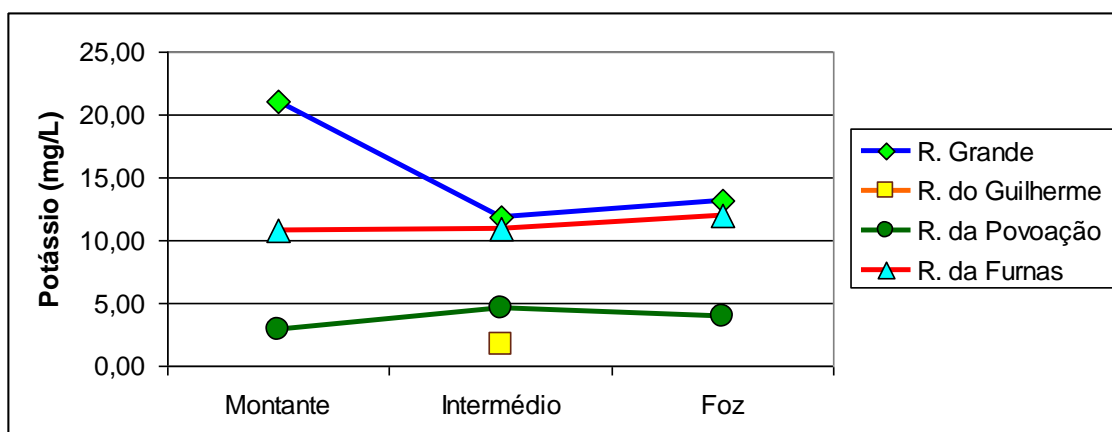


Figura 5.14 - Variação da concentração do potássio.

Tabela 5.9 - Excerto da análise da água da Ribeira das Furnas efectuada por Cruz et al. (1999). Valores em mg/L.

Elemento	(mg/L)	Elemento	(mg/L)
CO_2	99	Cl	11,92
SiO_2	82,34	F	0,7
Na	54,18	Li	0,033
K	8,39	B	0,084
Ca	9,92	Mn	0,367
Mg	5,69	Sr	0,051
SO_4	3,6	Zn	0,054

Uma análise de elementos da água corrente da ribeira das Furnas, publicada por Cruz *et al.* (1999), foi efectuada entre as estações 9 e 10. Mostra proximidade nos valores do fluoreto, magnésio, sódio e sílica com os obtidos neste trabalho. Para os restantes elementos é observada alguma variação. Isto pode indicar alguma variabilidade nas características da água corrente das ribeiras. Um maior número de análises, em vários locais e ao longo do ano poderá confirmar esta variação. A fácies hidrogeoquímica das águas situou as amostras das Furnas e Ribeira Grande no campo das águas bicarbonatadas sódicas. A amostra da Ribeira do Guilherme enquadra-se nas águas bicarbonatadas sódico-cálcico-magnesianas e as da Ribeira da Povoação nos campos das águas bicarbonatadas calco-sódicas e bicarbonatadas sódico-cálcicas.

5.2.2 - Granulometria e Identificação dos Grãos

Tendo em conta a metodologia escolhida, foi efectuada a peneiragem de uma fracção dos sedimentos recolhidos em cada estação. Posteriormente foi identificada, de acordo com as classes definidas, a totalidade ou uma porção tida como suficiente dos grãos de 0 Φ para cima. De seguida é feita a interpretação dos resultados.

5.2.2.1 - Ribeira da Ribeira Grande

Relativamente à dimensão dos grãos, tendo em conta a natureza do processo envolvido, nota-se uma má calibração nas três estações (1,2 e 3). Na estação 1, as dimensões de malha acima de -0,5 Φ e abaixo de -3 Φ (1,41 a 8 mm) abrangem aproximadamente 60% do material. Na estação 2, cerca de 65% do material concentrou-se acima da malha 1 Φ até -1 Φ inclusive (0,5 até 2 mm). Na estação 3 a distribuição dos grãos é maior, sem grupos dimensionais claramente dominantes (Fig. 5.15).

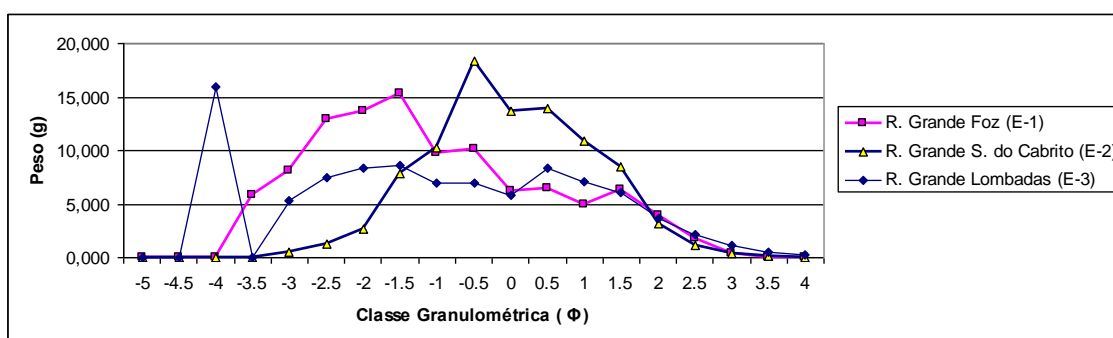


Figura 5.15 - Granulometria dos sedimentos da Ribeira Grande.

Quanto à identificação dos grãos, e tendo em conta as categorias definidas, na estação 1 há um predomínio total dos fragmentos líticos (Fig. 5.16). Nas dimensões de 0 Φ até -1,5 Φ foram identificados feldespatos em quantidade considerável. Quanto à pedra-pomes, obsidiana ou escórias, são de número reduzido e ocorrem apenas em certas classes dimensionais. É notável uma lavagem considerável da pedra-pomes, assim como a não identificação de olivinas ou piroxenas.

Na estação 2 a categoria das pedra-pomes é dominante com exceção da classe 0 Φ , os fragmentos líticos são a segunda categoria mais representada, dominando na classe 0 Φ . Os feldspatos, obsidianas e escórias quase só se encontram na classe 0 Φ . Finalmente quanto à estação 3 nota-se algum equilíbrio nas categorias dos líticos e pedra-pomes. Os feldspatos são consideráveis na categoria 0 Φ , com os fragmentos de obsidiana quase não existentes e sem escórias identificadas.

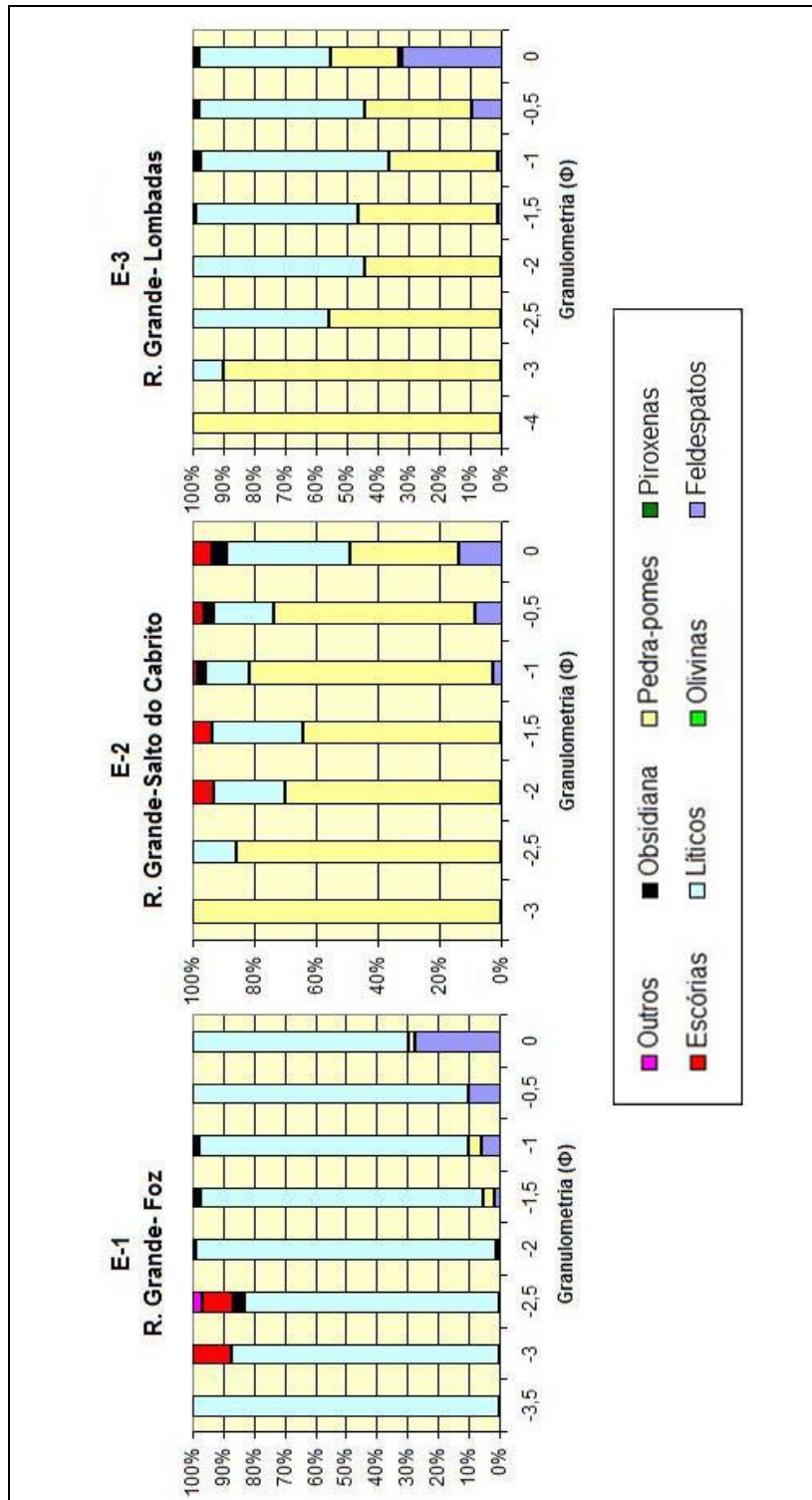


Figura 5.16 - Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira Grande.

5.2.2.2 - Ribeira do Guilherme

Na estação 4 da Ribeira do Guilherme, três classes dimensionais constituem mais de 60% da amostra, nomeadamente as classes aprisionadas na peneira de 0 Φ , -0,5 Φ e -1 Φ , ou seja, grãos de 1 a 2,83 mm. Na estação 5, um pouco menos bem calibrada, as classes de -1,5 Φ a -3 Φ inclusive, (2,83 mm e 8 mm respectivamente) abrangem acima de 65% do material. É de notar a quase ausência das classes mais finas, embora se encontrem bem representadas na estação 4. Os grãos de 1,41 a 2 mm dominam na estação 4, enquanto na estação 5 são predominantes os grãos entre 5,66 a 8 mm (Fig. 5.17).

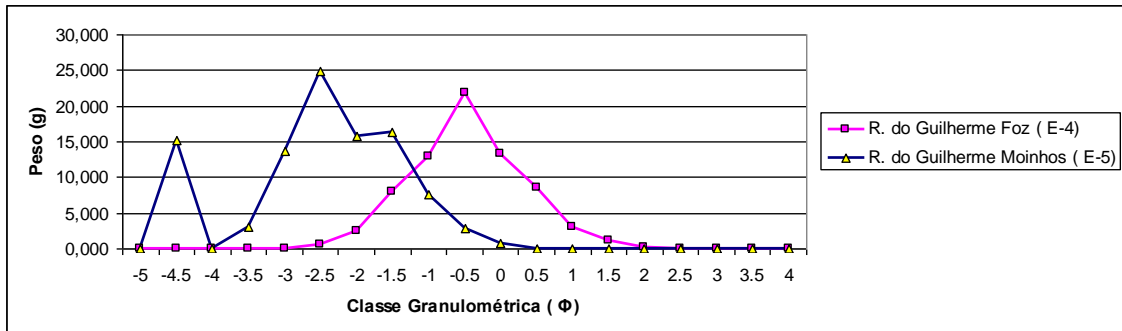


Figura 5.17 - Granulometria dos sedimentos da Ribeira do Guilherme.

A quase totalidade dos grãos identificados na estação 4 pertencem à categoria dos líticos. As olivinas são a segunda classe mais representada em contagem de grãos, surgindo abaixo da classe -1 Φ (2 mm). As restantes classes encontram-se presentes mas não são significativas. Na estação 5 observa-se de novo um predomínio nos líticos, novamente com as olivinas a surgirem com grãos abaixo de 2 mm. As piroxenas encontram-se mais bem representadas do que na estação 4 sendo as restantes classes quase inexistentes (Fig. 5.18).

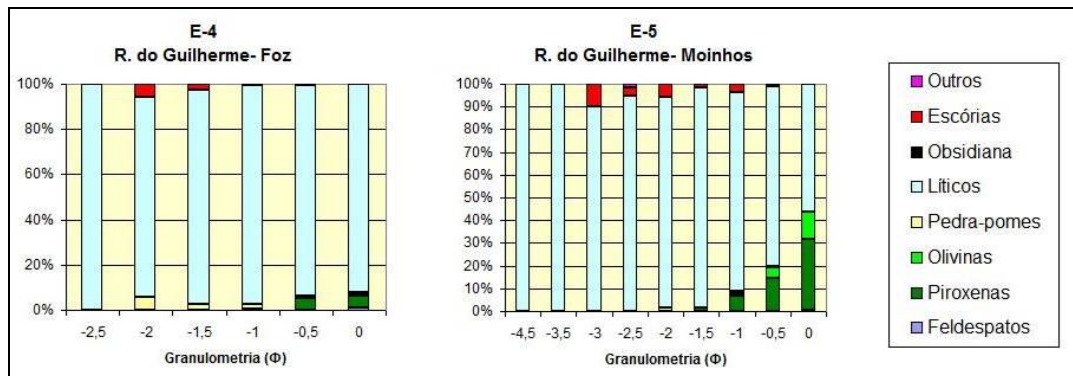


Figura 5.18 - Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira do Guilherme.

5.2.2.3 - Ribeira da Povoação

As amostras das estações da ribeira da Povoação apresentam-se mal calibradas (Fig. 5.19). Na estação 6 a dimensão predominante é a grãos entre -3,5 a -4 Φ (11,31 a 16 mm). No entanto estão presentes quantidades consideráveis de grãos desde essa dimensão até aos 1,5 Φ (0,35 mm). Na estação 7 a curva de distribuição das classes dimensionais apresenta um

comportamento quase sinusoidal, com a amostra muito mal calibrada. A classe mais representada é a de $1,5 \Phi$ (0,35 mm a 0,5 mm). Na estação 8 quase 50% dos grãos estão entre os $1,5 \Phi$ e -1Φ , (0,35 mm até 2 mm) com um máximo na classe de $0,5 \Phi$ (entre 0,71 mm e 1mm).

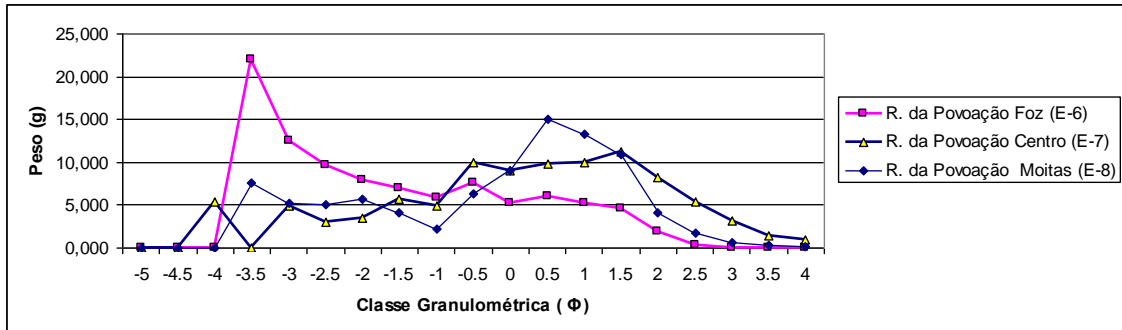


Figura 5.19 - Granulometria dos sedimentos da Ribeira da Povoação.

A contagem e identificação dos grãos até à classe 0Φ , indica a categoria dos líticos como dominante em todas as dimensões nas três amostras. Abaixo dos -2Φ (4 mm), as pedra-pomes começam a aparecer em maior número. Em todas as estações são visíveis grãos mono-minerálicos de feldspatos, piroxenas e olivinas, especialmente visíveis na estação 7. Outro aspeto a destacar é a presença de clastos de escória vulcânica e a ausência quase total de obsidiana com a excepção de um grão na estação 6 (Fig. 5.20).

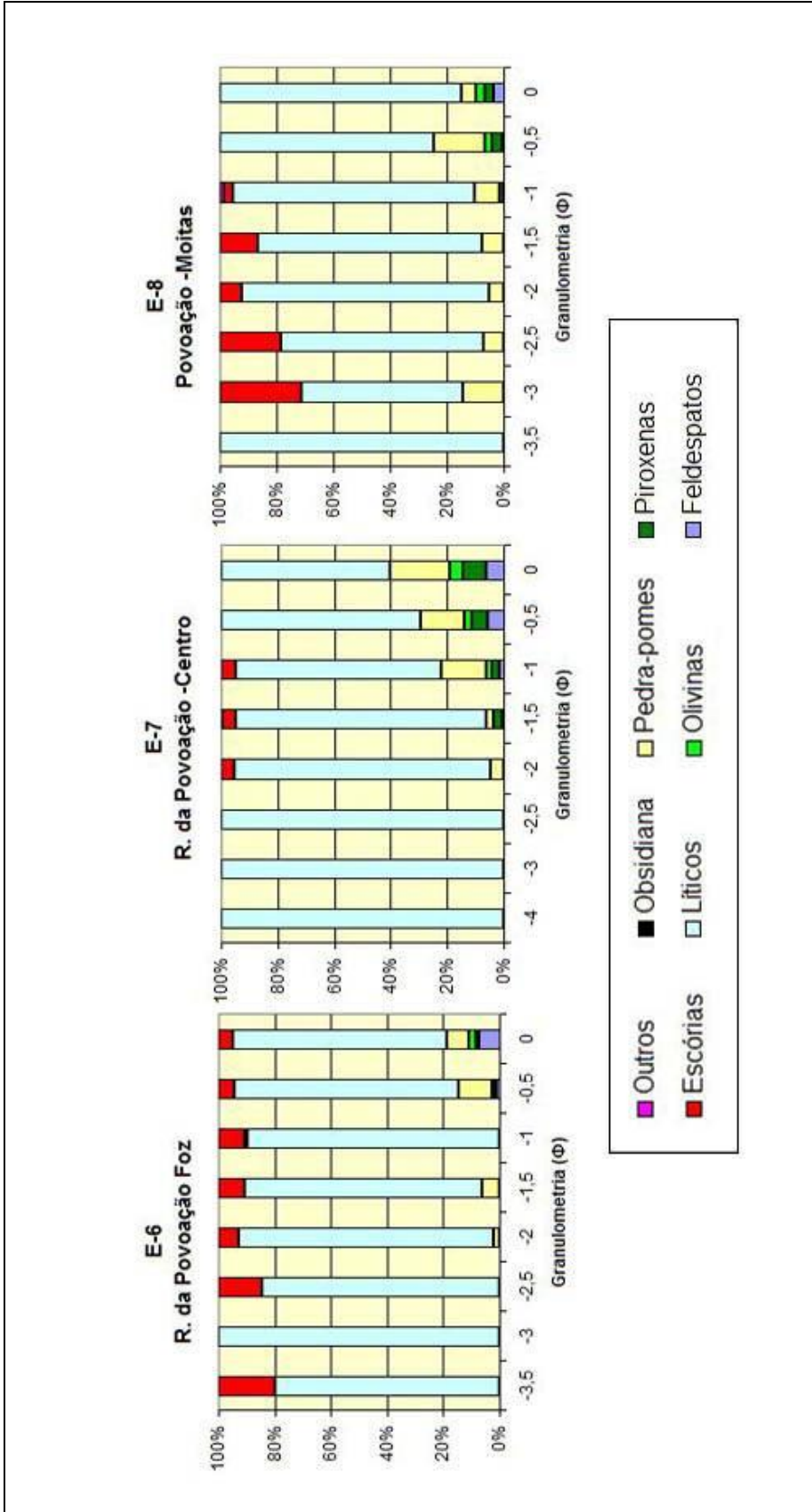


Figura 5.20 - Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira da Povoação.

5.2.2.4 - Ribeira das Furnas

Nas três estações da Ribeira das Furnas as amostras apresentam-se mal calibradas (Fig. 5.21). Na estação 9 mais de 60% dos grãos encontram-se nas classes desde 1,5 Φ até 0,5 Φ (0,35 a 1,41 mm) com um máximo na classe 0,5 Φ (0,71 a 1 mm). Na estação 10, mais de 55 % dos grãos estão na mesma fronteira da estação 9, nomeadamente nas classes desde 1,5 Φ até 0,5 Φ (0,35 a 1,41 mm). Na estação 11 as mesmas granulometrias contam com mais de 55% do peso total. Contudo a dimensão dominante é de 1.5 Φ (0,35 a 0,5 mm).

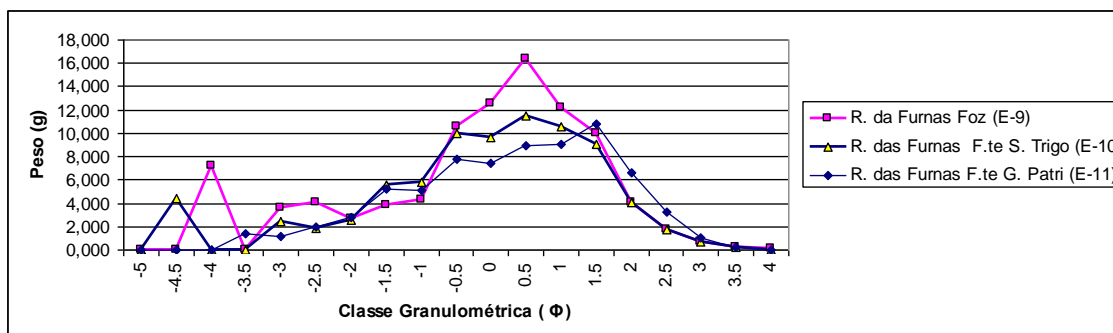


Figura 5.21 - Granulometria dos sedimentos da Ribeira das Furnas.

Quanto à identificação dos grãos, há um predomínio da categoria dos líticos nas três estações. A segunda categoria mais representada é a da pedra-pomes. Alguns clastos de obsidiana podem ser observados nas três estações, assim como escórias e felDSPatos. Na estação 2, a classe 0 Φ apresenta alguns cristais de piroxenas (Fig. 5.22).

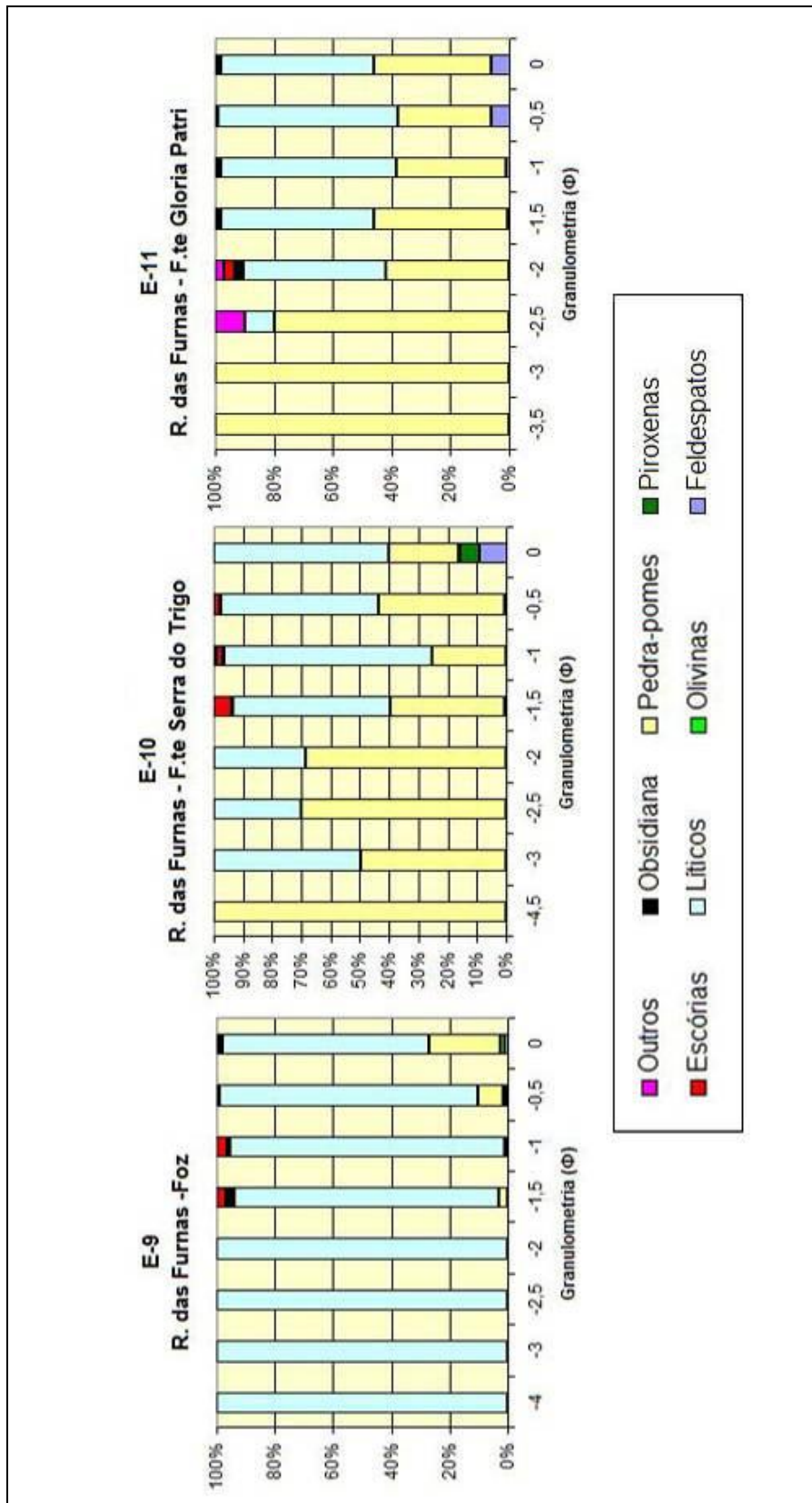


Figura 5.22 - Identificação dos sedimentos das estações da Ribeira das Furnas.

A identificação dos sedimentos de acordo com as categorias escolhidas mostrou uma clara relação com as litologias presentes e a sua localização relativa às estações, permitindo uma diferenciação das quatro bacias.

5.2.3 - Geoquímica dos Sedimentos

O material sedimentar recolhido em cada estação foi analisado como referido na metodologia. Uma das análises efectuadas foi a determinação do teor de matéria orgânica. A percentagem de matéria orgânica variou entre os 0,93 na estação 6 e 54,19 na estação 9. Contudo, com excepção da estação 9, todas as estações apresentaram valores percentuais de matéria orgânica abaixo dos 6%. O ponto anómalo amostrado deverá ter sido efectuado num local rico em lodo e matéria orgânica vegetal em decomposição, por exemplo com alguns ramos e folhas, capazes de causar a perda de 27,8 gramas em 51,4 gramas analisadas (54,1%). Com excepção da Ribeira das Furnas, o valor de matéria orgânica sofre uma redução de montante para jusante em todas as ribeiras. Este comportamento poderá dever-se às condições hidrodinâmicas, com caudais menos regulares e menos significativos para montante, que favorecem alguma acumulação de matéria orgânica nos fundos (Fig. 5.23).

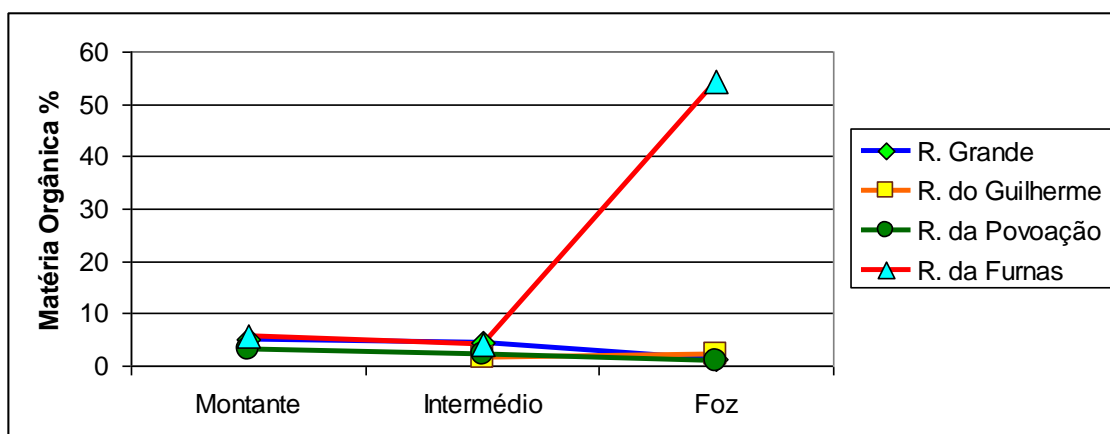


Figura 5. 23 - Variação da concentração de matéria orgânica nos sedimentos.

O pH destes sedimentos foi medido com a adição de água destilada. O valor médio obtido após estabilização e três medições variou entre os 7,23 para a estação 1 e os 6,53 para a estação 4. Os valores obtidos foram bastante semelhantes, sem tendências notáveis para a acidez ou alcalinidade(Fig. 5.24).

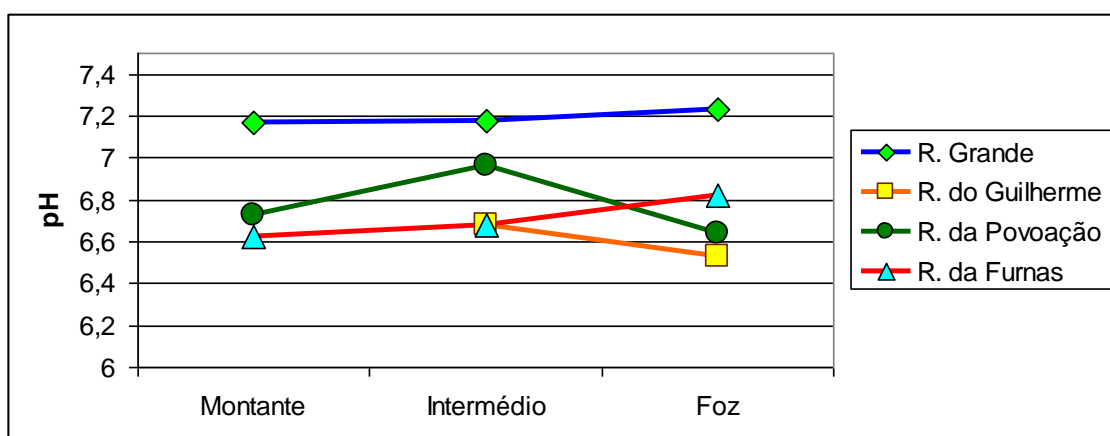


Figura 5.24 - Variação do pH dos sedimentos recolhidos.

Foi feita uma análise química completa aos sedimentos de fundo recolhidos em cada estação assim como quatro análises adicionais ao material de suspensão que se conseguiu separar.

Seguidamente, são discutidos os resultados para cada curso de água, relativamente aos elementos maiores. Estes são ponderados na forma de óxidos e os valores apresentados são relativos à sua percentagem relativa.

5.2.3.1 - Ribeira Grande

As três estações desta ribeira apresentaram resultados bastante semelhantes. Os valores de sílica variaram entre os 61 e os 63%. O mesmo ocorre de uma forma geral para o alumínio, ferro, manganês, potássio, sódio e fósforo, com os valores a apresentarem considerável semelhança. O magnésio, cálcio e titânio apresentam um ligeiro enriquecimento na direcção da foz (Fig. 5.25 e 5.26).

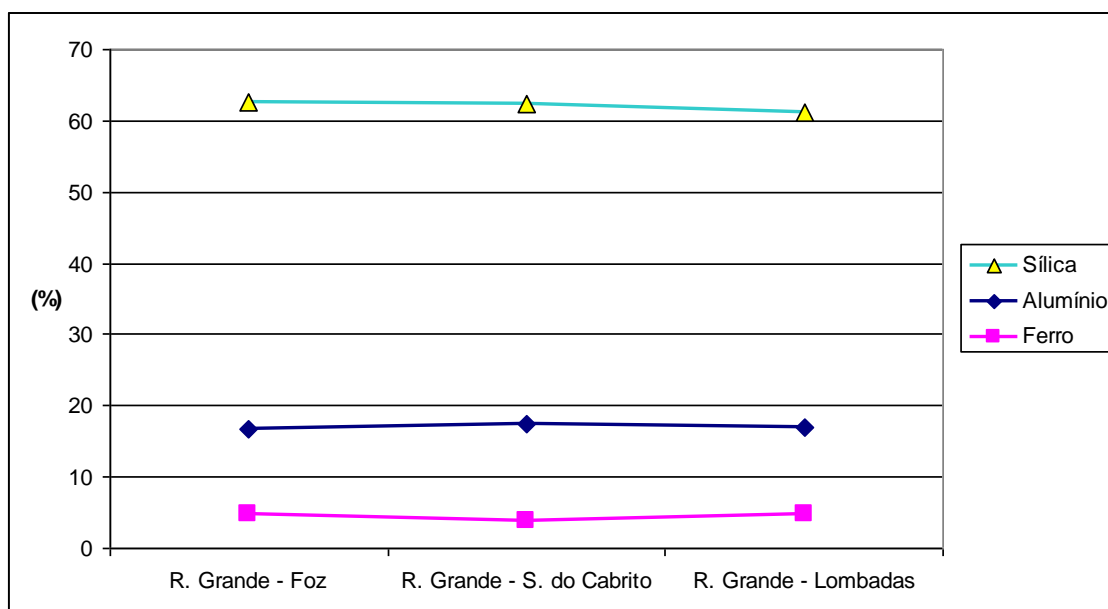


Figura 5.25 - Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira Grande.

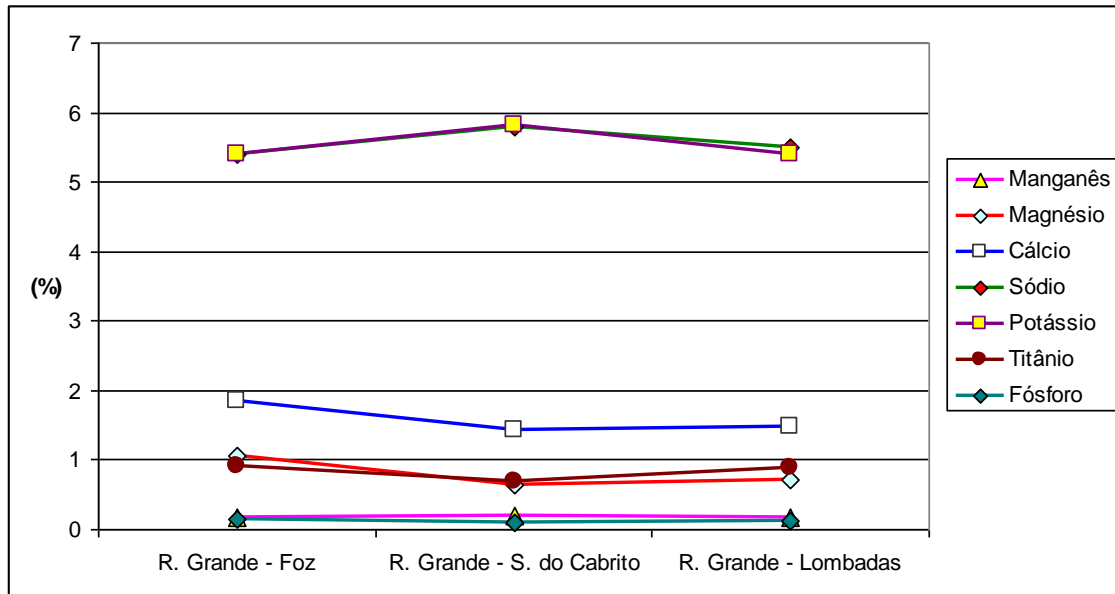


Figura 5.26 - Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira Grande.

Os valores obtidos para a sílica estão de acordo com a natureza das rochas desta bacia. O valor relativamente baixo de ferro e magnésio é confirmado na ausência de olivinas identificadas. De notar ainda a correlação perfeita entre o sódio e o potássio, possivelmente ligada à ocorrência de sanidina. Segundo Wallenstein (1999) as rochas da ilha de S. Miguel são ricas em potássio registando-se, na própria ilha, um enriquecimento deste elemento de oeste para este com as amostras do vulcão central do Fogo a enquadrar-se na série potássica.

5.2.3.2 - Ribeira do Guilherme

As duas estações desta ribeira apresentam valores amostrais sensivelmente idênticos para os elementos maiores (Fig. 5.27 e 5.28). O valor percentual de sílica varia entre os 47 e os 48 %.

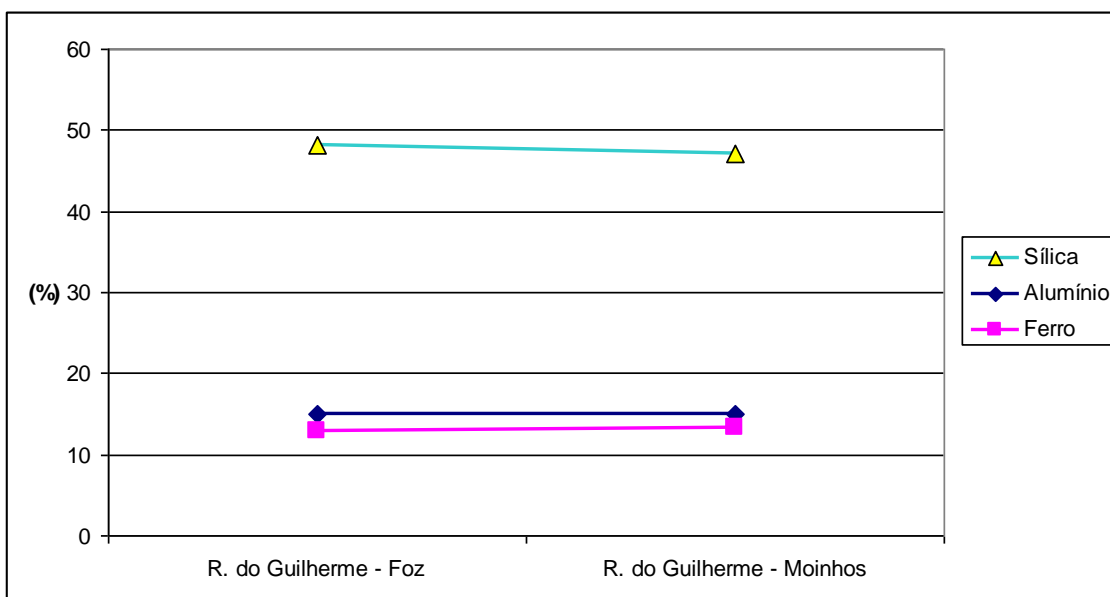


Figura 5.27 - Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira do Guilherme.

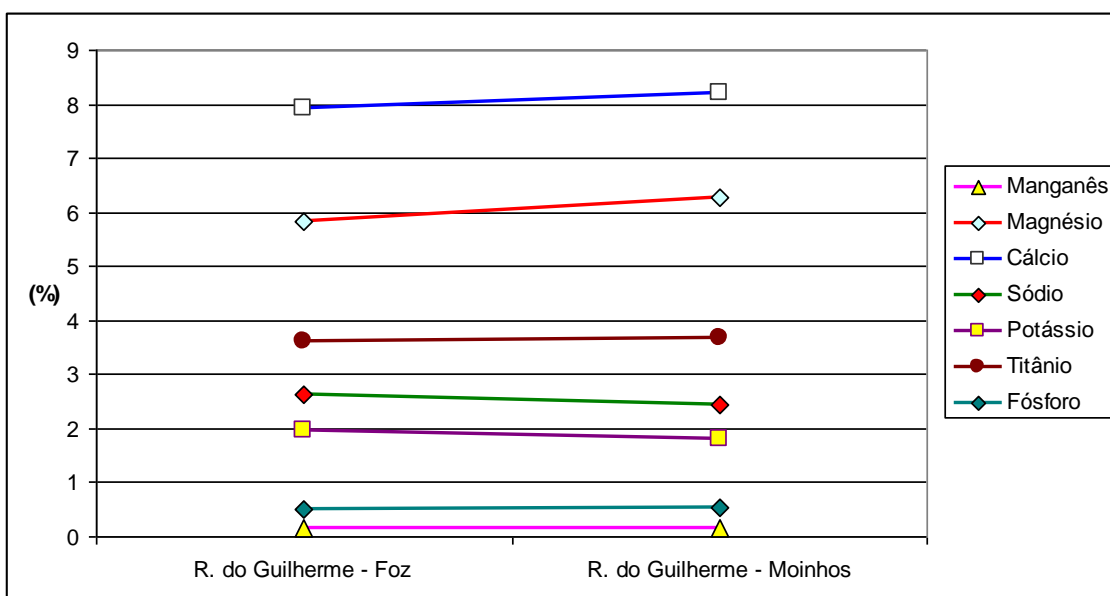


Figura 5.28 - Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira do Guilherme.

Neste caso (Fig.5.27) é visível um valor de sílica médio muito mais baixo, compatível com os ankaramitos e restantes basaltos identificados por Moore (1991). O contrário acontece com o ferro, titânio e magnésio, associados às piroxenas e olivinas.

Os valores mais elevados do cálcio e relativamente mais baixos para o sódio e potássio, podem indicar plagioclases e piroxenas cálcicas.

5.2.3.3 - Ribeira da Povoação

Neste curso de água os valores amostrais obtidos para cada estação são semelhantes. Contudo, nota-se um ligeiro enriquecimento em sílica (50 a 53%),

alumínio, sódio e potássio e um empobrecimento geral em ferro e magnésio, na direcção da foz (Fig. 5.29 e 5.30).

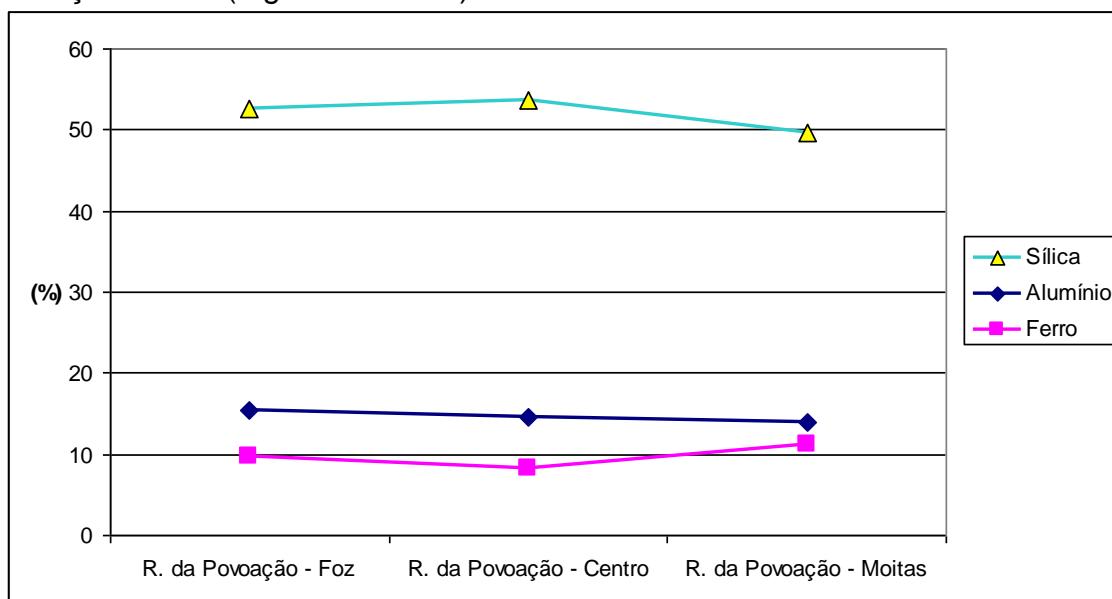


Figura 5.29 - Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira da Povoação.

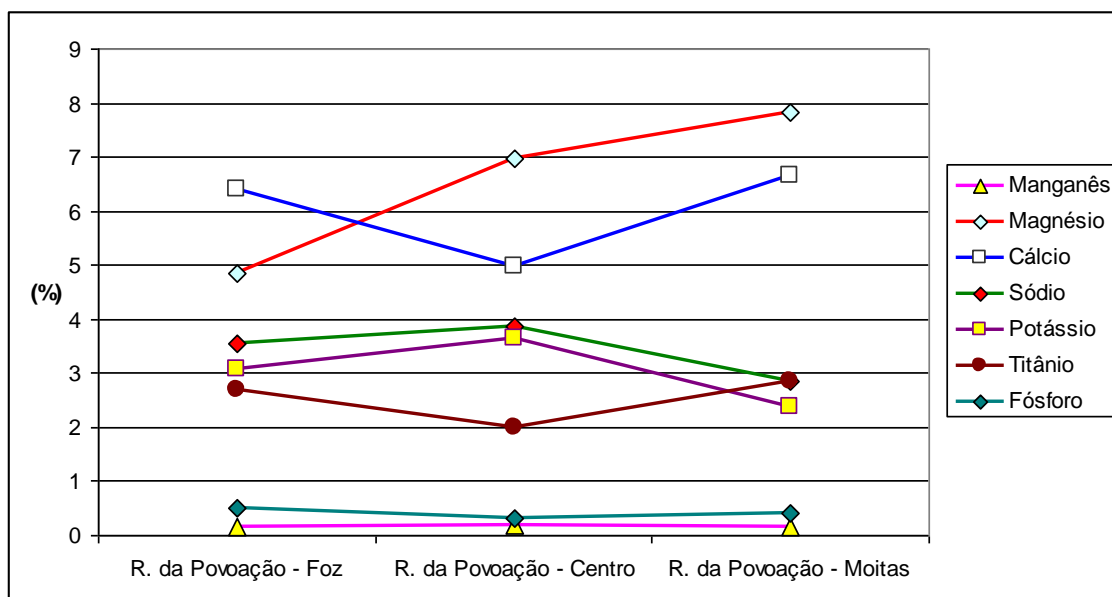


Figura 5.30 - Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira da Povoação.

Os sedimentos da ribeira da Povoação apresentam-se numa posição intermédia, entre as características mais ácidas das Furnas e Ribeira Grande, e mais básicas da Ribeira do Guilherme. As escoadas basálticas do complexo do Nordeste encontram-se muitas vezes nos pontos mais a montante, e muito material piroclástico do vulcão das Furnas cobre a bacia hidrográfica. É de notar, que o transporte diferencial destes materiais leva a uma aproximação às rochas básicas na direcção da foz, também visível na identificação da granulometria.

5.2.3.4 - Ribeira das Furnas

Na Ribeira das Furnas o valor de sílica desce ligeiramente para jusante, de 61,41 % para 58,32 %. O alumínio, o sódio e o potássio apresentam um comportamento semelhante. Por outro lado o ferro, o magnésio, o cálcio e o titânio apresentam um comportamento simétrico, aumentando na direcção da Foz (Fig. 5.31 e 5.32). Os dados para os elementos maiores são bastante semelhantes aos verificados para a Ribeira Grande com a composição química a indiciar rochas ácidas .

A principal diferença para a Ribeira Grande prende-se com um valor superior para o cálcio, embora isto seja visível apenas na estação da Foz.

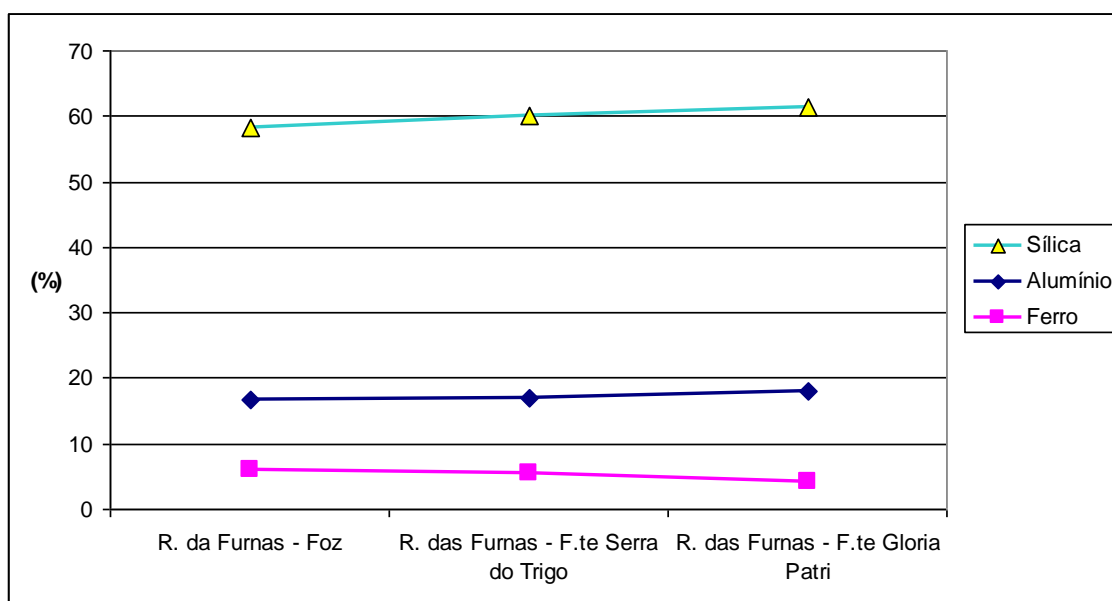


Figura 5.31 - Variação da concentração da sílica, alumínio e ferro nos sedimentos de fundo da Ribeira das Furnas.

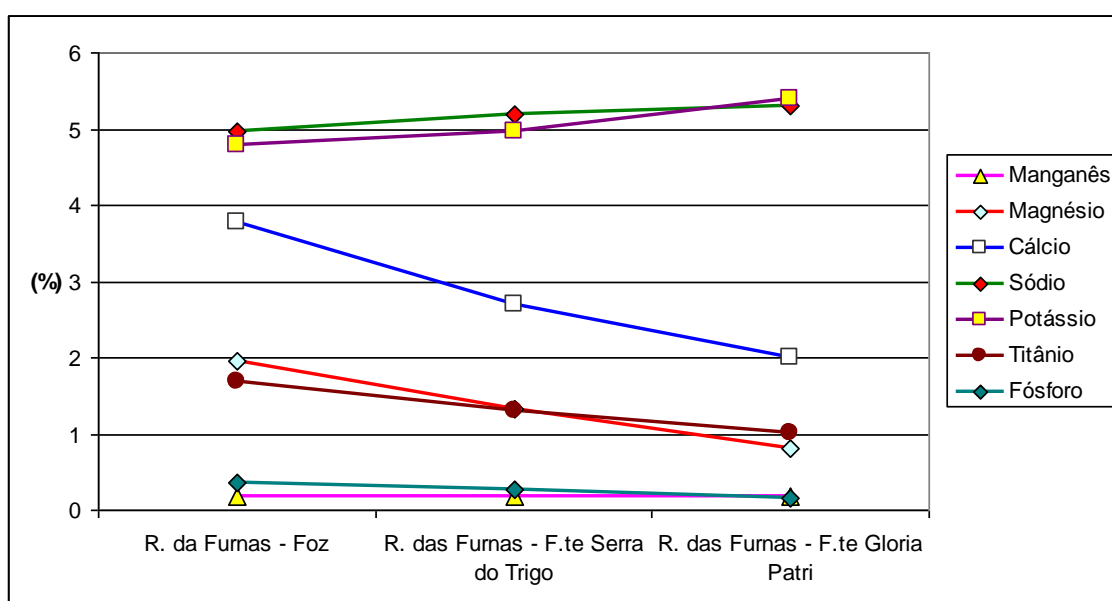


Figura 5.32 - Variação do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo nos sedimentos de fundo da Ribeira das Furnas.

5.2.3.5 - Amostras de Sedimentos em Suspensão

Só foi possível recolher material em suspensão suficiente em três estações, e na soma de todas as estações da Ribeira da Povoação (Fig. 5.33 e 5.34).

Na estação 9, correspondente à foz da Ribeira da Furnas, a análise dos sedimentos destaca um valor elevado de ferro, com quase 10%. Também se nota um valor de fósforo e manganês mais elevado do que nas amostras de sedimentos de fundo. A análise deste material em suspensão indica ainda um elevado valor de material perdido por ignição, cerca de 14,74% compatível com a proporção de matéria orgânica identificada.

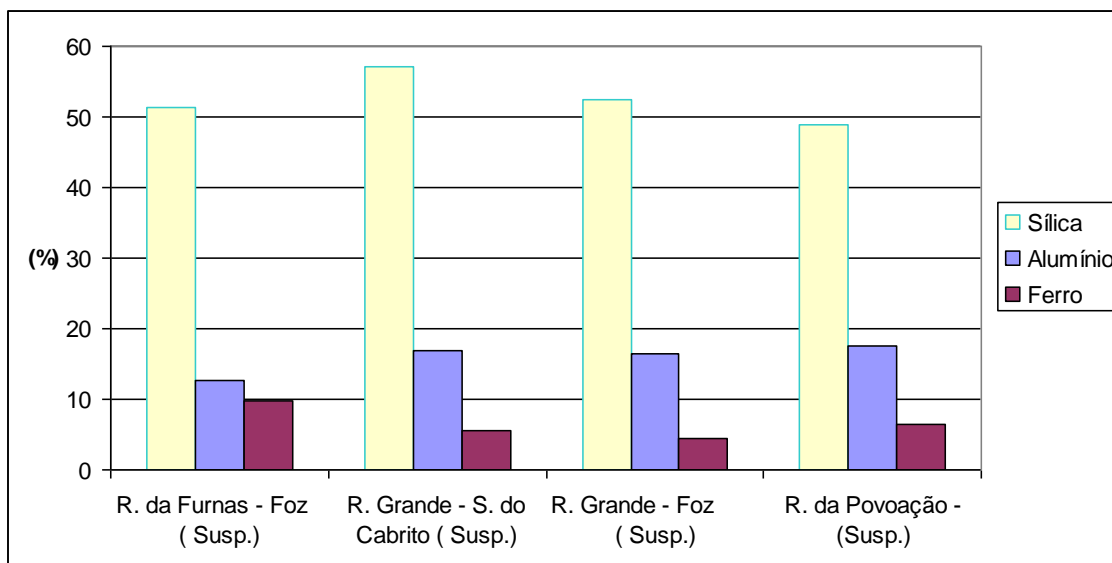


Figura 5.33 - Comparação da concentração em sílica, alumínio e ferro para as amostras de material em suspensão.

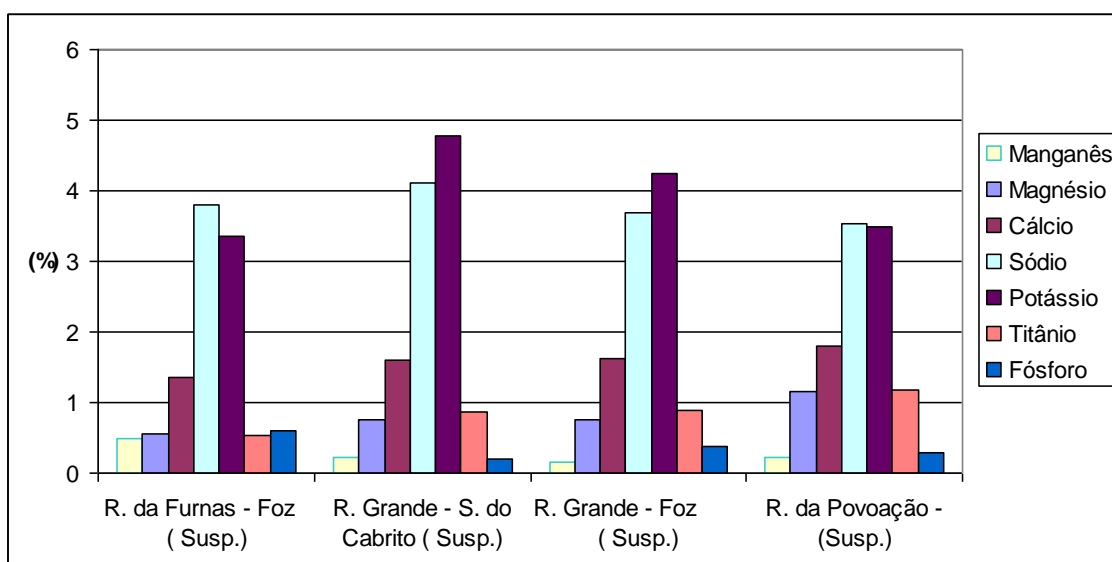


Figura 5.34 - Comparação da concentração do manganês, magnésio, cálcio, sódio, potássio, titânio e fósforo no material em suspensão recolhido.

Nas estações 1 e 2, respectivamente Foz da Ribeira Grande e Salto do Cabrito, os resultados da análise do material em suspensão foram semelhantes entre si. A perda por ignição foi maior na Foz, e o valor percentual de sílica mais baixo.

Relativamente às amostras de sedimentos de fundo, nota-se um empobrecimento em sílica mas um enriquecimento ligeiro no ferro e no fósforo.

Relativamente aos respectivos sedimentos de fundo, a análise conjunta dos sedimentos em suspensão, obtidos nas três estações da Ribeira da Povoação, mostra uma diminuição no valor percentual do ferro, magnésio, manganês e cálcio. Por outro lado, o alumínio, sódio e potássio exibem aumentos proporcionais. Os dados químicos dos sedimentos em suspensão obtidos são bastante semelhantes entre si.

5.2.3.6 - Elementos Menores e em Traço

Juntamente com os elementos maiores, foram determinadas as concentrações de mais de duas dezenas de elementos, que pela sua baixa abundância recebem a designação geral de elementos menores em traço e são medidos em partes por milhão.

Nos sedimentos de fundo e suspensão de cada ribeira diferente, os valores dos elementos menores e em traço das três estações (duas no caso da Ribeira do Guilherme) mostraram uma grande semelhança. Por outro lado, para quinze dos elementos notam-se diferenças significativas entre os sedimentos dos quatro cursos de água, no que parece ser uma assinatura geoquímica quanto a elementos menores e em traço, mais ou menos clara (ver Anexos). Agrupados esses elementos por abundância relativa, nota-se uma maior semelhança entre as ribeiras da Ribeira Grande e Furnas, e entre a Ribeira do Guilherme e Povoação (Fig. 5.35 a 5.38). As análises em que o valor mínimo encontrado para o elemento foi inferior ao limite de detecção são marcadas com um asterisco.

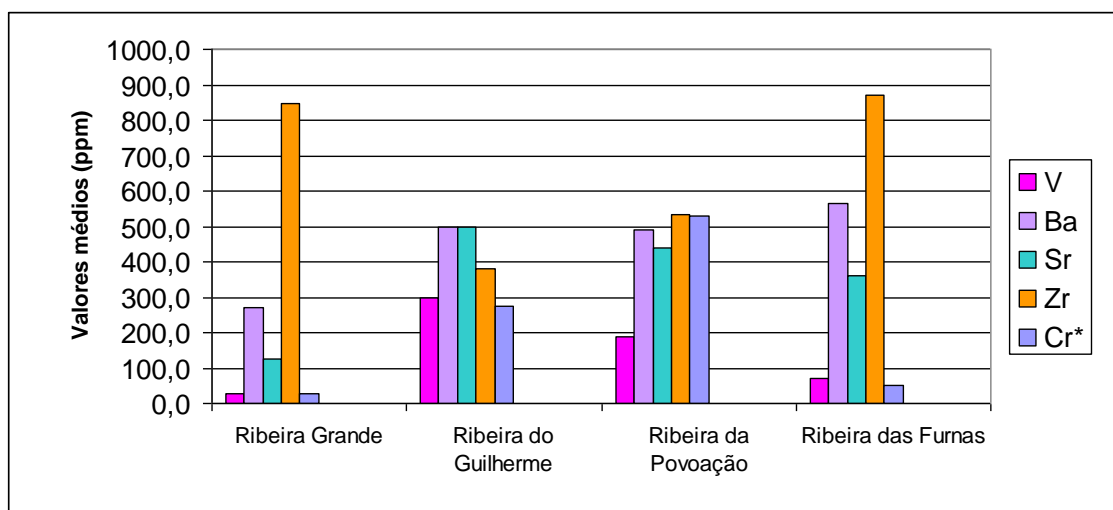


Figura 5.35 - Concentração média em ppm do vanádio, bário, estrôncio, zircônio e crômio nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.

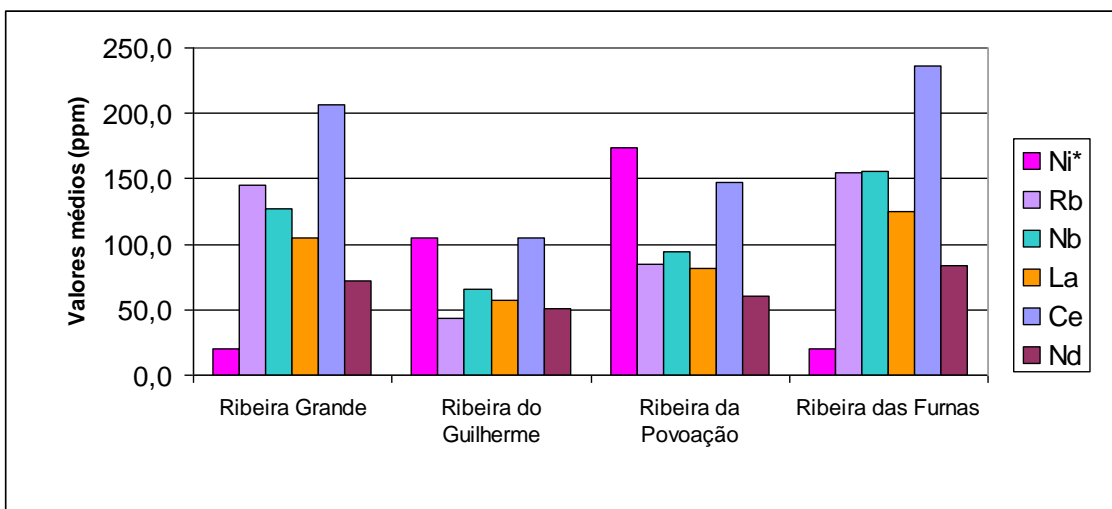


Figura 5.36 - Concentração média em ppm do níquel, rubídio, nióbio, lantânio, cério e neodímio nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.

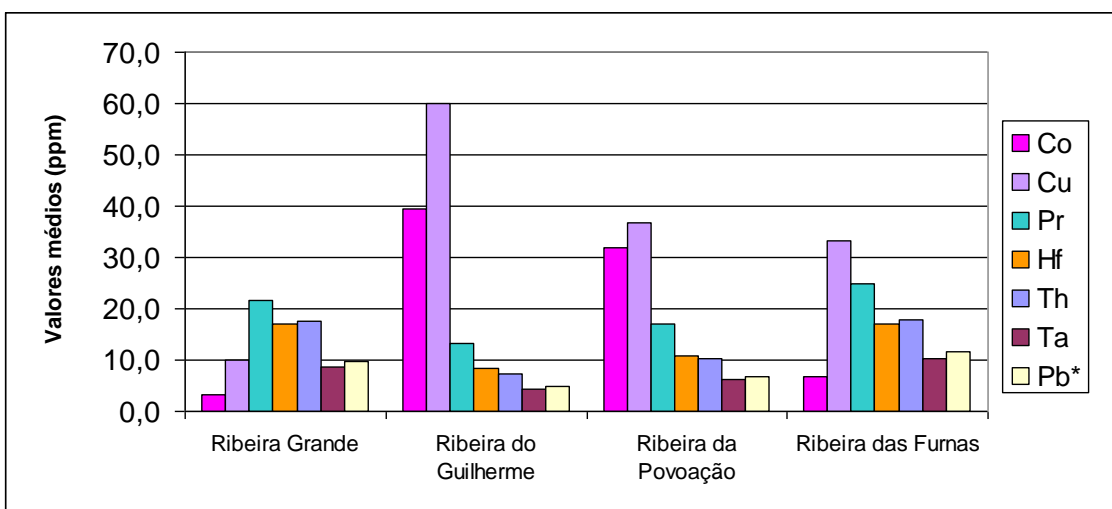


Figura 5.37 - Concentração média em ppm do cobalto, cobre, praseodímio, háfnio, tório, tântalo e chumbo nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.

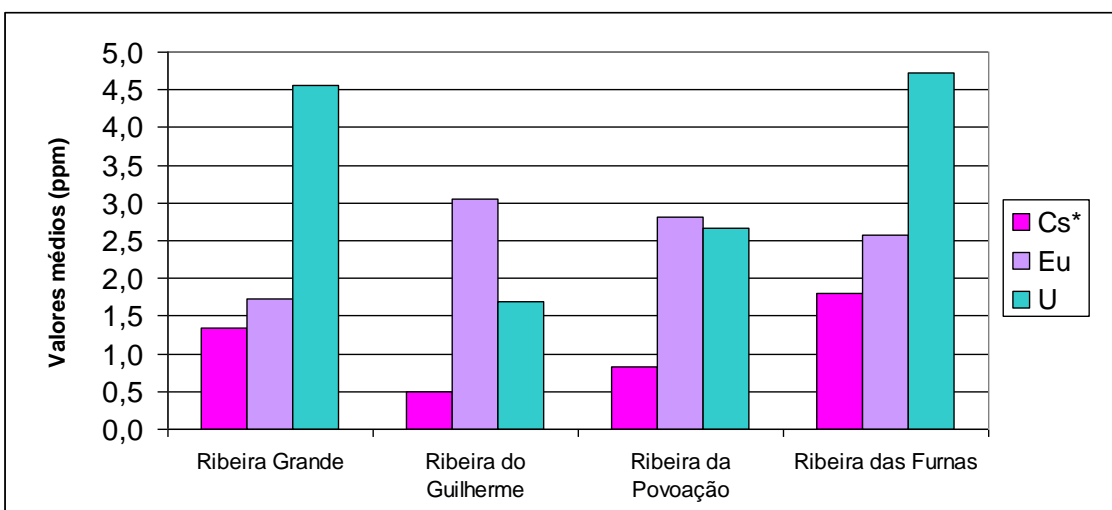


Figura 5.38 - Concentração média em ppm do cério, európio e urânio nos sedimentos de fundo dos quatro cursos de água.

Quanto aos sedimentos em suspensão mostram resultados bastante diferentes dos sedimentos de fundo, com muito maiores semelhanças entre si. As duas amostras da Ribeira Grande são virtualmente idênticas (Salto do Cabrito e Foz da Ribeira Grande).

Quase todos os elementos menores aumentam na sua concentração relativamente aos sedimentos de fundo. Contudo o número reduzido de amostras (quatro) não permite uma comparação muito eficaz. Há diferenças entre as quatro bacias para os sedimentos em suspensão, mas seriam necessárias mais amostras para obter dados conclusivos. A grande semelhança entre os resultados de duas estações da mesma ribeira, pode indicar uma composição química algo constante, para os sedimentos em suspensão recolhidos em na mesma ribeira.

6 – Considerações Finais

A presente dissertação tem um objectivo principal e directo, a caracterização geoquímica dos sedimentos associados aos principais cursos de água de São Miguel. Para além deste aspeto pretendeu-se ainda encontrar as variações ao longo do curso de água e entre as áreas das bacias hidrográficas drenantes. Foram encontradas relações inequívocas entre os sedimentos e geologia circundante, assim como sinais do vulcanismo secundário.

Depois de uma pesquisa bibliográfica e escolhida a metodologia e os procedimentos a seguir, iniciaram-se todos os estudos e análises no sentido de atingir os objectivos propostos. Para conseguir a caracterização geoquímica, focaram-se os estudos em três campos principais: a análise geoquímica dos sedimentos de fundo e suspensão, análise elementar e das propriedades da água, granulometria e identificação dos grãos. Os objectivos foram claros, obter resultados válidos, interpretar esses resultados e estabelecer relações com a geologia da área.

Importa ressaltar que as filtragens da água para recuperar os sedimentos em suspensão não produziram os resultados necessários. Na maioria das estações verifica-se que seriam necessário filtrar mais de 20 litros de água para recuperar até 10 gramas de material seco, necessários para as análises geoquímicas. Contudo em algumas estações obteve-se material em suspensão suficiente para a caracterização geoquímica do material que as ribeiras escolhidas transportavam em suspensão.

As amostragens na Ribeira do Guilherme não foram completas. A planeada estação mais a montante revelou-se inacessível, e não se conseguiu recolher água em todas as estações na primeira campanha.

Outro aspeto que deverá ser melhorado em estudos futuros diz respeito à identificação dos grãos. Inicialmente foram consideradas mais categorias, mas não foi possível manter os critérios de identificação à medida que as dimensões dos grãos baixavam. Se é relativamente fácil reconhecer uma rocha de natureza traquítica de outra de basáltica em amostra de mão, quando os grãos passam a evidenciar apenas uma natureza microcristalina, muitas vezes com alteração da cor, a identificação torna-se muito complexa, de modo que se agruparam algumas categorias iniciais em grupos maiores. Por exemplo reuniram-se todos os líticos basálticos s.l. ou traquíticos na categoria dos líticos, aplicando-se a mesma fusão para todas as variedades de pedra-pomes e escórias. Mesmo com estas limitações foi possível encontrar relações entre os resultados da identificação e a cartografia geológica para a área e as restantes análises dos sedimentos.

Não obstante as dificuldades sentidas, os cursos de água funcionaram de uma forma aparentemente perfeita como geradores de uma amostragem aleatória, significativa e constante. Os resultados das análises químicas da água mostraram diferenças claras entre as bacias, e uma evolução acentuada ao longo das estações do curso de água.

Quer na Ribeira Grande, quer nas Furnas obtiveram-se bons indicadores da influência de manifestações de vulcanismo secundário. Os dados reflectiram a diferença do quimismo das águas, principalmente ao longo do percurso da ribeira em questão, mostrando que a composição química da mesma é muito influenciada pelo área que atravessa, marcada principalmente por processos em que os elementos que transporta são progressivamente dissolvidos ou concentrados.

Os resultados das análises efectuadas aos sedimentos, granulometria, identificação de grãos, e geoquímica mostraram vários aspetos. A granulometria confirmou a natureza hidrodinâmica dos cursos de água apresentando sedimentos no geral mal calibrados, com algumas categorias minerais a ocuparem dimensões específicas, provavelmente mais próximas da dimensão dos cristais originais. Os cursos de água seleccionados, de pequena extensão relativa, caudal reduzido e com características torrenciais mostraram não favorecer uma selecção granulométrica.

A identificação dos grãos respeitou alguns aspetos da cartografia geológica existente, com algumas categorias a surgirem espacialmente depois de ultrapassadas as fontes identificadas na cartografia. Da mesma forma confirmou-se a natureza diferenciada entre algumas bacias e semelhanças entre outras, com ausência de certos tipos de minerais ou com o predomínio de líticos em vez de pedra-pomes. Ao comparar posteriormente com as composições geoquímicas, verificou-se que são perfeitamente correlacionáveis com a identificação efectuada.

As análises geoquímicas foram talvez as mais surpreendentes, pois mostraram uma grande coesão de resultados entre as estações da mesma bacia, e diferenças marcadas entre os sedimentos de ribeiras diferentes. Nos elementos maiores, mais susceptíveis de variação rápida com a litologia, os teores em sílica, magnésio, potássio e ferro, mostraram-se completamente de acordo com a natureza geológica da bacia em causa. Como seria de esperar, os valores dos elementos compatíveis com rochas vulcânicas ácidas, variaram em proporção inversa com os elementos favorecidos em rochas vulcânicas básicas. Os sedimentos da Ribeira Grande e Ribeira das Furnas vs. Ribeira do Guilherme e Ribeira da Povoação mostram este aspeto. Foi observada uma clara assinatura geoquímica única para os sedimentos de cada bacia estudada, que se reflecte principalmente nas concentrações de alguns elementos menores e em traço. Estes mostraram na maioria dos casos valores muito próximos para estações de amostragem da mesma ribeira, e diferenças entre sedimentos de ribeiras distintas.

Em áreas tão grandes, e com rochas quimicamente variadas na mesma bacia, a mistura natural efectuada pelos cursos de água mostrou-se extremamente eficaz em homogeneizar todas essas fracções, gerando amostras de sedimentos com marcas geoquímicas claras e distintas de cada ribeira.

Relativamente ao material em suspensão, os resultados dos elementos maiores, menores e em traço, mostraram-se muito semelhantes, não obstante as ligeiras variações entre as amostras. A composição química desses

sedimentos difere bastante da obtida quanto aos sedimentos de fundo, mas mesmo assim parece mostrar alguns indícios da diferente geologia das bacias. É provável, que estes sedimentos tenham uma composição geoquímica muito mais dependente dos solos, do que dos sedimentos observáveis nas ribeiras.

No futuro, os resultados obtidos no corrente estudo podem ser aprofundados, desde logo abrangendo mais cursos de água e correspondentes bacias. Importa melhorar alguns dos aspetos menos bem conseguidos e consolidar os dados, de forma a verificar a sua robustez.

Será importante melhorar a caracterização da relação entre as análises das litologias dominantes nas bacias e a composição química dos sedimentos, assim como explicar os processos que levam às composições químicas dos sedimentos em suspensão, possivelmente muito dependentes de argilas.

Bibliografia

- ABDEL-MONEM, A.A., FERNANDEZ, L.A. & BOONE, G.M. (1975) - K-Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands). *Lithos*, 8, pp. 247-254.
- ANDRIOTTI, J.L.S. (2010) - Metodologia de interpretação de dados de sedimentos de corrente na CPRM- Serviço Geológico do Brasil *in*: FLORES, D. & MARQUES, M. (Eds.) (2010) – Memórias nº 14, X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica, Porto, pp. 257-262.
- AZEVEDO, J.M.M. (1998) - Geologia e Hidrogeologia da ilha das Flores (Açores - Portugal), Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade de Coimbra, 403 p.
- AZEVEDO, J.M.M., ALVES, E.I. & DIAS, J.F.L. (2003) - Contributo para a interpretação vulcanoestrutural da ilha do Corvo, Açores. *in*: VI Congresso Nacional de Geologia (Ed. DCT-FCT), Ciências da Terra, Volume Especial V, pp. A5-A8, Monte da Caparica.
- AZEVEDO, J.M.M. & PORTUGAL FERREIRA, M.R. (2006) - The volcanotectonic evolution of Flores Island, Azores (Portugal). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156 (1- 2): pp. 90-102.
- BAGGIO, H. & HORN, A.H. (2010) - Fonte, distribuição e características geoquímicas dos sedimentos de corrente do rio do Formoso - MG *in*: FLORES, D. & MARQUES, M. (Eds.) (2010) – Memórias nº 14, X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica, Porto, pp. 433-438
- CARMO, R. (2004) - Geologia estrutural da região Povoação - Nordeste (ilha de S. Miguel, Açores). Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 121 pp.
- CARVALHO, M. R. E. (1999) - Hidrogeologia do maciço vulcânico de Água de Pau/Fogo (São Miguel-Açores). Dissertação de Doutoramento no ramo da Geologia, especialidade de Hidrogeologia, Universidade de Lisboa, 445 pp.
- CHOVELON, P., (1982) - Évolution volcanotectonique des îles de Faial et de Pico, Archipel des Açores - Atlantique Nord. Thèse de Docteur 3ème Cycle, Université de Paris-Sud, Centre D'Orsay. 193 pp.
- COSTA, A. (2006) - Atlas hidrogeológico das águas minerais dos Açores. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 146 pp.

- COUTINHO, R. (2000) - Elementos para a monitorização sismo-vulcânica da ilha do Faial (Açores): Caracterização hidrogeológica e avaliação de anomalias de Rn associadas a fenómenos de desgaseificação. Dissertação de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, 342 pp.
- CRUZ, J.V., J.C. NUNES, Z. FRANÇA, M.R. CARVALHO & V.H. FORJAZ (1995) - Estudo vulcanológico das erupções históricas da ilha do Pico - Açores. Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências Porto, 4:pp. 985-987.
- CRUZ, J.V., COUTINHO, R., CARVALHO, M.R., OSKARSSON, N. & GISLASON, S.R. (1999) - Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 92, pp. 151-168.
- 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, 453 pp.
- CRUZ, J.V. (2004) - Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. Ed. Secretaria Regional do Ambiente, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, 288 pp.
- CRUZ, J.V., PACHECO, D., COUTINHO, R., CYMBROM, A., MENDES, S., ANTUNES, P., FONTIELA, J. & FREIRE, P. (2010) - Chemical monitoring of river water bodies in an EU outermost region: examples from the Azores archipelago (Portugal). Journal of Environmental Monitoring, 2010,12,pp. 2216-2225.
- CUSTODIO E. & LLAMAS M.R. (1983) - Hidrología subterránea. Ed. Omega, 2 vol. Barcelona. 2359 pp.
- DIAS, J. (2001) - Geologia e tectónica da ilha do Corvo (Açores-Portugal): contributos para o ordenamento do espaço físico. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 102 pp.
- DROTRH, INAG (2001) - Plano Regional da Água. Relatório Técnico. Versão para consulta pública. Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, Secretaria Regional do Ambiente da Região Autónoma dos Açores e Instituto da Água, <www.inag.pt>.
- FÉRAUD, G., KANEOKA, J. & ALLÈGRE, C. (1980) - K/Ar ages and stress pattern in the Azores: Geodynamic implications. Earth Planet. Sci. Letters, 46, pp. 275-286.
- FERREIRA, T. (2000) - Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): Vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 226 pp.

- FORJAZ, V.H., MONJARDINO, J. & FERNANDES, N.S.M., (1970a) -Folha "A" da ilha de S. Jorge (Açores) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000. Serv. Geol. Portugal.
- FORJAZ, V.H. & FERNANDES, N.S.M., (1970b) - Folha "B" da ilha de S. Jorge (Açores) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000. Serv. Geol. Portugal.
- FORJAZ, V.H., (1977) - Ilha do Faial, Carta vulcanológica na escala 1:25000. Instituto de Geociências dos Açores, 1 folha.
- FRANÇA, Z., J.V. CRUZ, J.C. NUNES, J.C. & V.H. FORJAZ, (2003a) - Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. *Açoreana* 10 (1); pp. 11-140.
- FRANÇA, Z.T., J.C. NUNES, J.V. CRUZ, J.F. DUARTE & V.H. FORJAZ (2003b) - Estudo preliminar do vulcanismo da Ilha do Corvo, Açores. *in*: F.G.GARCIA & J.L.B. VALERO (Ed.). Proceedings da 3ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica. Valencia. Espanha. Editorial de la UPV- Universidad Politecnica de Valencia, Tomo II; pp. 727-730.
- FREIRE, P. (2006) - Águas Minerais e Termas da ilha de São Miguel (Açores): caracterização hidrogeológica e implicações para a monitorização vulcanológica. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 173 pp.
- FREIRE, P., ANDRADE, C., COUTINHO, R. & CRUZ, J.V. (2013) - Fluvial geochemistry in São Miguel (Azores, Portugal): source and fluxes of inorganic solutes in an active volcanic environment. *Science of the Total Environment* 454-455, pp. 154-169
- 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.
- GOMES, M.E.P. & ANTUNES, I.M.R.H. (2010) - Geoquímica de sedimentos de corrente e solos da antiga mina da Fonte Santa (Lagoaça, NE de Portugal) *in*: FLORES, D. & MARQUES, M. (Ed.) (2010) – Memórias nº 14, X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica, Porto. pp. 543-550
- GUEST, J.E., GASPAR J.L., COLE P.D., QUEIROZ G., DUNCAN, A.M., WALLENSTEIN, N., FERREIRA, T. & PACHECO, J.M. (1999) – Volcanic geology of Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, pp. 1-29.
- 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., pp. 163-172.

- LAUGHTON, A. S., WHITMARSH, R. B., RUSBY, J. S. M., SOMERS, M. L., REVIE, J., MCCARTNEY, B. & NAFE, J. E. (1972) - A continuous East-West fault on the Azores- Gibraltar Ridge. *Nature* 237(5352): pp. 217-220.
- LAUGHTON, A. & WHITMARSH, R. (1974) - The Azores-Gibraltar plate boundary. *in: Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area*. Reidel Publ. Comp., Kristjansson Eds., pp. 63-81.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986) – A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27, pp. 745-750.
- MADEIRA, J. (1986) - Geologia estrutural e enquadramento geotectónico da ilha de Santa Maria (Açores). Dissertação APCC, Dep. Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, 107 pp.
- MADEIRA, J. (1998) - Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade em Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 428p.
- MOORE, R.B. (1991) – Geologic Map of São Miguel, Azores. U.S.G.S. Miscellaneous investigations series, map I-2007.
- NUNES, J.C. (2000) - Notas sobre a geologia da Terceira. *Açoreana*, 9: pp. 205-215.
- PACHECO, J.M., (2001) - Processos associados ao desenvolvimento de erupções vulcânicas hidromagmáticas explosivas na ilha do Faial e a sua interpretação numa perspectiva de avaliação do hazard e minimização do risco. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 330 pp.
- QUEIROZ, G. (1990) - Aspectos vulcanológicos do maciço das Sete Cidades, Provas de Prog. Carr. Inv. Centro de Vulcanologia, INIC, Ponta Delgada, 148 pp.
- QUEIROZ, G. (1997) – Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores): História eruptiva e avaliação do Hazard. Dissertação de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 226 pp.
- SELF, S., (1973). Recent volcanism on Terceira, Azores. PhD Thesis, London University, Imperial College, 236 pp.

- SERRALHEIRO, A., ALVES., C.A., FORJAZ, V.H., e RODRIGUES, B. (1987) - Carta Vulcanológica dos Açores, Ilha de Santa Maria, Centro de Vulcanologia do I.N.I.C. Escala 1/15000.
- SERRALHEIRO, A., MATOS ALVES, C.A., FORJAZ, V.H. e RODRIGUES, B. (1989) - Carta Vulcanológica dos Açores – ilha do Faial à escala 1:15000. Edição do Serviço Regional de Protecção Civil, Universidade dos Açores e Centro de Vulcanologia do INIC, 4 folhas.
- VIERS, J., DUPRÉ, B., GALLARDET, J. (2009) - Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database. *Science of the Total Environment*. 407(2):pp. 853-868
- WALLENSTEIN, N. (1999) - Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do Vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. Dissertação de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 266 pp.
- WHITE, W.M., SCHILLING, J.G. e HART, S.R. (1976) - Evidence for the Azores mantle plume from strontium isotope geochemistry of the Central North Atlantic. *Nature*, Vol. 263, 5579, pp. 659-663.
- ZBYSZEWSKI, G., F.M. ALMEIDA, O.V. FERREIRA & C.T. ASSUNÇÃO (1958) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000; notícia explicativa da folha “B” da ilha de S. Miguel (Açores), 37pp., Serv. Geol. Portugal, Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G., O.V. FERREIRA & C.T. ASSUNÇÃO (1959a) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000; notícia explicativa da folha “A” da ilha de S. Miguel (Açores), 22 pp., Serv. Geol. Portugal, Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G., F.M. ALMEIDA, O.V. FERREIRA & C.T. ASSUNÇÃO (1959b) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000; notícia explicativa da folha da ilha do Faial (Açores), 25 pp., Serv. Geol. Portugal, Lisboa.
- ZBYSZEWSKY, G. (1961) - Étude géologique de l'île de S. Miguel (Açores). *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal*, 45, pp. 5-79.
- ZBYSZEWSKY, G., CÂNDIDO DE MEDEIROS, A., FERREIRA, O. V. & ASSUNÇÃO, C. T. (1967) - Carta Geológica de Portugal e Notícia explicativa: Ilha do Corvo, Açores. *Serviços Geológicos de Portugal*. Carta + 16 pp.
- ZBYSZEWSKI, G., A. MEDEIROS, O.V. FERREIRA & C.T. ASSUNÇÃO (1971) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000; notícia explicativa da folha da ilha Terceira (Açores), 43 pp., Serv. Geol. Portugal., Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G., A. MEDEIROS, O.V. FERREIRA & C.T. ASSUNÇÃO (1972) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000; notícia explicativa da folha da ilha do Graciosa (Açores), 31 pp.; Serv. Geol. Portugal., Lisboa.

Endereços Internet Consultados

www.ine.pt (acedido a Outubro de 2012)

www.climaat.angra.uac.pt (acedido a Dezembro de 2012)

www.cvarg.azores.gov.pt (acedido a Outubro de 2012)

<http://sig.sram.azores.gov.pt> (acedido a Dezembro de 2012)

**Caracterização Geoquímica dos Sedimentos de
Fundo e em Suspensão dos Principais Cursos de
Água na Ilha de São Miguel**

ANEXOS

ANEXO I

(ANÁLISES GEOQUÍMICAS PARA OS ELEMENTOS MAIORES, MENORES E EM TRAÇO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO E SUSPENSÃO)

Elementos Maiores (%) (Óxidos)	Limite de Detecção	Estação							
		1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	0,01	62,68	62,28	61,15	48,1	47,17	52,71	53,58	49,67
Al ₂ O ₃	0,01	16,74	17,35	16,96	14,93	14,9	15,44	14,5	14
Fe ₂ O ₃ (T)	0,01	4,67	3,75	4,77	12,96	13,38	9,72	8,33	11,1
MnO	0,001	0,181	0,188	0,181	0,16	0,167	0,158	0,184	0,172
MgO	0,01	1,05	0,63	0,72	5,83	6,26	4,84	6,97	7,82
CaO	0,01	1,84	1,42	1,49	7,93	8,2	6,41	4,97	6,64
Na ₂ O	0,01	5,41	5,8	5,5	2,64	2,44	3,54	3,87	2,86
K ₂ O	0,01	5,41	5,82	5,39	1,97	1,8	3,08	3,63	2,37
TiO ₂	0,001	0,909	0,679	0,893	3,605	3,68	2,692	2,01	2,867
P ₂ O ₅	0,01	0,14	0,1	0,12	0,52	0,55	0,5	0,31	0,4
Perda por Ignição		0,94	1,79	2,15	2,35	2,36	0,99	2,1	2,36
Total	0,01	99,98	99,81	99,32	101	100,9	100,1	100,5	100,3

Elementos Maiores (%) (Óxidos)	Limite de Detecção	Estação						
		9	10	11	9	2	1	6+7+8
SiO ₂	0,01	58,32	59,95	61,41	51,31	57,11	52,51	48,89
Al ₂ O ₃	0,01	16,62	16,88	17,91	12,67	16,86	16,54	17,6
Fe ₂ O ₃ (T)	0,01	5,93	5,37	4,23	9,86	5,55	4,54	6,55
MnO	0,001	0,172	0,183	0,184	0,489	0,217	0,16	0,223
MgO	0,01	1,95	1,32	0,81	0,55	0,76	0,75	1,15
CaO	0,01	3,77	2,69	2	1,36	1,61	1,62	1,81
Na ₂ O	0,01	4,96	5,19	5,3	3,79	4,11	3,69	3,53
K ₂ O	0,01	4,79	4,96	5,4	3,35	4,77	4,24	3,48
TiO ₂	0,001	1,681	1,314	1,021	0,524	0,859	0,878	1,181
P ₂ O ₅	0,01	0,36	0,28	0,15	0,6	0,21	0,38	0,3
Perda por Ignição		1,18	2,05	2,48	14,74	7,58	13,22	n.d.
Total	0,01	99,73	100,2	100,9	99,25	99,64	98,52	84,71

Elementos Menores e em Traço (ppm)	Denominação	Limite de Deteção	Estação							
			1	2	3	4	5	6	7	8
V	R. Grande Foz	5	34	21	26	293	302	202	140	220
Ba	R. Grande S. do Cabrito	3	281	290	243	500	499	560	452	458
Sr	R. Grande Lombadas	2	141	123	107	491	504	533	353	433
Y	R. do Guilherme Foz	2	43	37	42	33	35	35	33	32
Zr	R. do Guilherme Moinhos	4	832	800	914	389	374	505	650	447
Cr	R. da Povoação Foz	20	40	< 20	< 20	260	290	250	700	640
Co	R. da Povoação Centro	1	4	3	3	38	41	27	29	40
Ni	R. da Povoação Moitas	20	< 20	< 20	< 20	100	110	90	210	220
Cu		10	< 10	< 10	< 10	60	60	30	30	50
Zn		30	120	100	140	120	120	110	120	120
Ga		1	31	29	30	24	24	24	25	23
Ge		1	2	2	2	2	2	2	2	2
As		5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb		2	149	139	148	45	42	87	102	64
Nb		1	128	119	135	68	64	90	111	82
In		0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Sn		1	5	4	7	2	3	3	5	3
Sb		0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cs		0,5	1,6	1,2	1,2	< 0,5	< 0,5	0,8	1	0,7
La		0,1	107	96,6	110	57,5	56,1	84,2	91,3	68,9

Elementos Menores e em Traço (ppm)	Denominação Limite de Deteção	Estação							
		R. Grande Foz 1	R. Grande S. do Cabrito 2	R. Grande Lombadas 3	R. do Guilherme Foz 4	R. do Guilherme Moinhos 5	R. da Povoação Foz 6	R. da Povoação Centro 7	R. da Povoação Moitas 8
Ce	0,1	212	192	217	106	103	144	168	129
Pr	0,05	22,8	19,6	22,1	13,5	13,2	17,8	18,4	15
Nd	0,1	75,5	65,6	74	50	51	63,2	63,2	54,1
Sm	0,1	13,5	10,8	12,6	10	10,4	11,8	11,4	10
Eu	0,05	1,92	1,62	1,62	2,96	3,14	3,23	2,5	2,69
Gd	0,1	10,3	8,8	10,2	8,6	9	9,9	8,7	8,6
Tb	0,1	1,6	1,4	1,6	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3
Dy	0,1	9,3	7,7	8,9	7,1	7,4	7,5	7,1	7
Ho	0,1	1,7	1,4	1,7	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3
Er	0,1	4,8	3,8	4,6	3,3	3,3	3,6	3,4	3,2
Tm	0,05	0,69	0,56	0,68	0,46	0,43	0,49	0,48	0,45
Yb	0,1	4,2	3,5	4,2	2,7	2,7	3	3	2,8
Lu	0,04	0,66	0,53	0,65	0,41	0,42	0,44	0,45	0,4
Hf	0,2	17,2	15,8	18,4	8,5	8	10,6	12,5	9,7
Ta	0,1	8,7	8	9,1	4,5	4,4	5,9	7,3	5,5
W	1	2	2	2	< 1	< 1	< 1	1	< 1
Tl	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Pb	5	10	9	10	< 5	< 5	6	9	5
Bi	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Th	0,1	17,2	16,3	19	7,6	7,1	10,2	11,8	8,8
U	0,1	4,3	4,1	5,3	1,8	1,6	2,6	3,1	2,3

Elementos Menores e em Traço (ppm)	Denominação	Limite de Detecção	Estação							
			R. da Furnas Foz	R. das Furnas F.te Serra do Trigo	R. das Furnas F.te Gloria Patri	R. da Furnas Foz (Susp.)	R. Grande S. do Cabrito (Susp.)	R. Grande Foz (Susp.)	Ribeira da Povoação (Susp.)	6+7+8
V		5	95	66	45	43	31	33	65	
Ba		3	609	520	565	158	285	271	265	
Sr		2	454	334	297	99	148	150	188	
Y		2	41	44	42	46	49	50	59	
Zr		4	808	882	921	633	967	935	1072	
Cr		20	80	50	20	< 20	< 20	< 20	50	
Co		1	10	6	4	4	4	4	9	
Ni		20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	20	
Cu		10	80	< 10	< 10	20	20	20	40	
Zn		30	130	130	120	140	140	150	80	
Ga		1	28	29	29	24	29	29	33	
Ge		1	2	2	2	3	2	2	2	
As		5	< 5	7	< 5	57	< 5	< 5	< 5	
Rb		2	145	155	165	129	155	144	135	
Nb		1	150	155	162	141	150	148	207	
In		0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
Sn		1	4	6	5	6	7	5	15	
Sb		0,5	0,6	0,6	0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	
Cs		0,5	1,7	1,9	1,8	2,1	3,1	3	1,8	
La		0,1	117	129	129	122	129	126	162	

Elementos Menores e em Traço (ppm)	Denominação	Limite de Detecção	Estação						
			R. da Furnas Foz	R. das Furnas F.te Serra do Trigo	R. das Furnas F.te Gloria Patri	R. da Furnas Foz (Susp.)	R. Grande S. do Cabrito (Susp.)	R. Grande Foz (Susp.)	Ribeira da Povoação (Susp.)
			9	10	11	9	2	1	6+7+8
Ce		0,1	220	250	239	234	241	243	314
Pr		0,05	23,7	26	25,2	23,6	25,6	25,6	30,9
Nd		0,1	81,5	86	83	78,4	85,8	85,4	106
Sm		0,1	13,6	14,5	13,3	12,8	14,4	14,6	17,8
Eu		0,05	2,75	2,45	2,53	1,18	1,9	1,84	1,96
Gd		0,1	10,2	10,7	9,8	10,1	11,3	11,4	13,4
Tb		0,1	1,6	1,7	1,6	1,5	1,8	1,7	2,1
Dy		0,1	8,9	9,2	8,6	8,8	9,7	9,7	11,1
Ho		0,1	1,6	1,7	1,6	1,7	1,8	1,8	2,2
Er		0,1	4,4	4,7	4,6	4,8	5	5	5,9
Tm		0,05	0,62	0,65	0,68	0,69	0,71	0,73	0,82
Yb		0,1	3,7	4,2	4,2	4,3	4,5	4,6	5,3
Lu		0,04	0,57	0,62	0,62	0,64	0,67	0,68	0,84
Hf		0,2	15,7	17,2	18,2	12,4	19,6	19,1	24,5
Ta		0,1	9,6	10,5	10,9	10,5	10,2	10,1	11,6
W		1	2	2	3	4	2	2	4
Tl		0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Pb		5	11	11	13	7	10	10	< 5
Bi		0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Th		0,1	16,1	17,8	19,5	16,8	23,6	23,5	24,5
U		0,1	4,2	4,7	5,3	4,9	5,9	5,9	6,3

ANEXO II

(IDENTIFICAÇÃO FOTOGRÁFICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS
DOS SEDIMENTOS DE FUNDO)

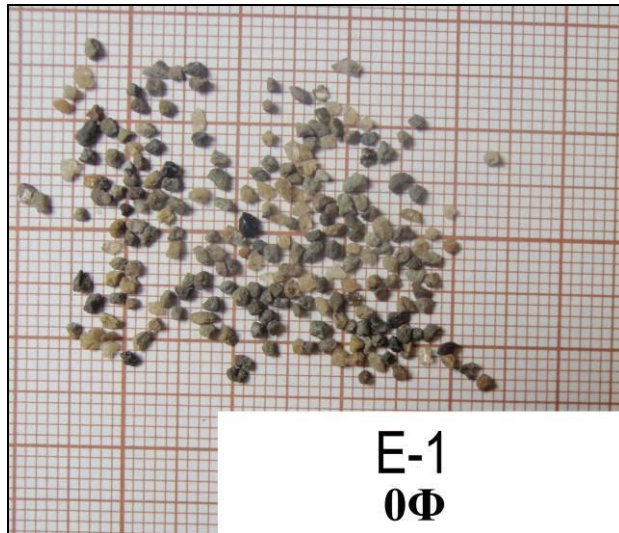


Foto A 1 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe 0 Φ .



Foto A 2 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 3 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -1 Φ .



Foto A 4 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 5 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 6 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 7 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 8 - Sedimentos de Fundo da Estação 1 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -3,5 Φ .



Foto A 9 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 6,25 % da Classe 0 Φ .

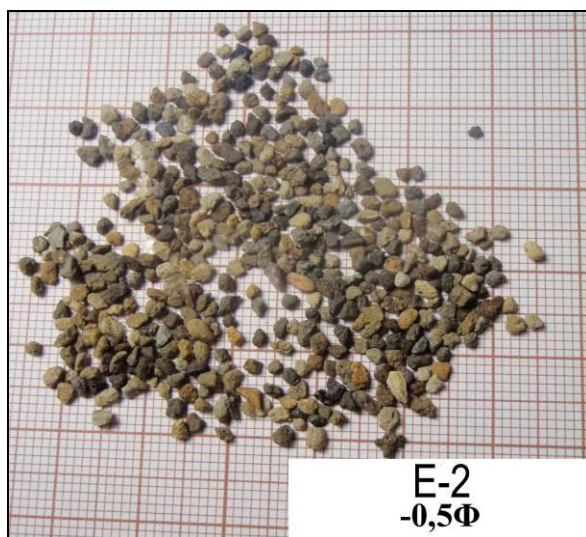


Foto A 10 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 11 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 25 % da Classe -1 Φ .



Foto A 12 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 50 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 13 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .

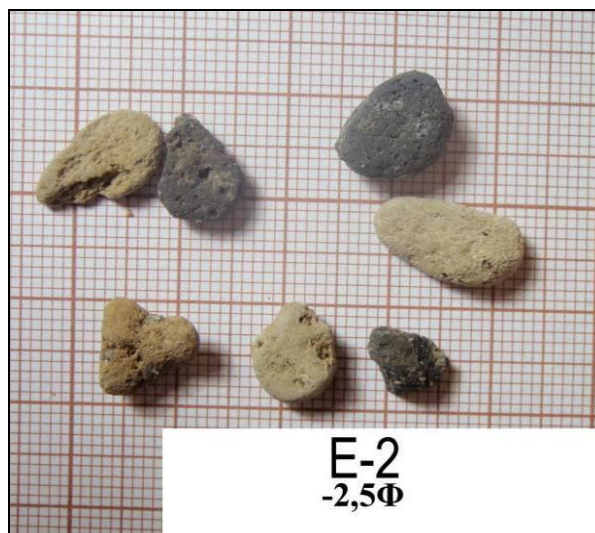


Foto A 14 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .

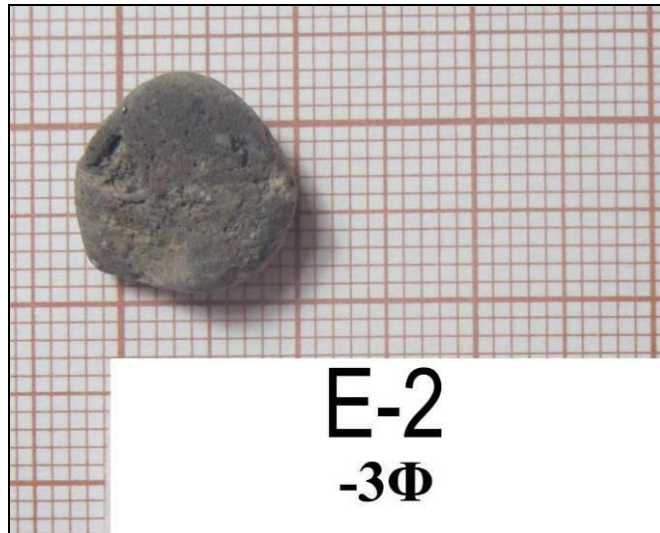


Foto A 15 - Sedimentos de Fundo da Estação 2 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 16 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 6,25% da Classe 0 Φ.

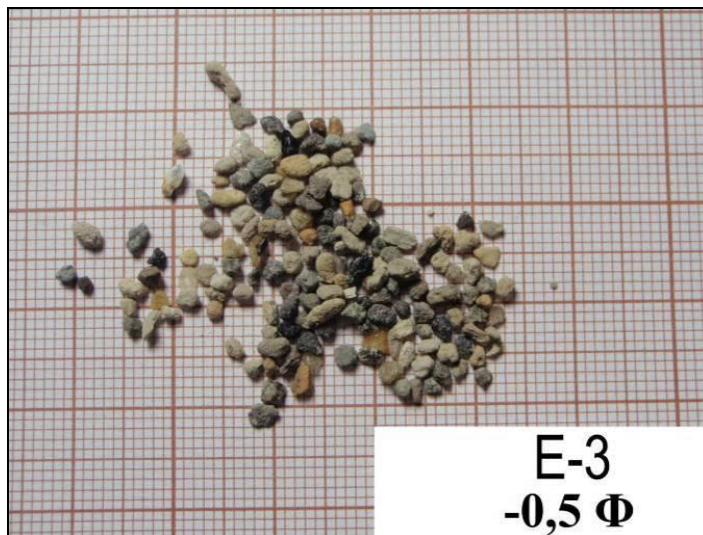


Foto A 17 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0,5 Φ.



Foto A 18 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 25 % da Classe -1 Φ.



Foto A 19 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 20 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 21 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 22 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 23 - Sedimentos de Fundo da Estação 3 da Ribeira Grande. Fração identificada de 100 % da Classe -4 Φ .



Foto A 24 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 6,25 % da Classe 0 Φ .

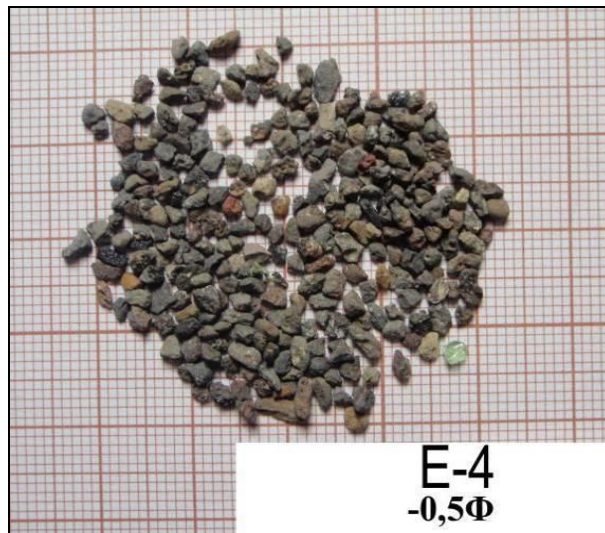


Foto A 25 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 26 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 25 % da Classe -1 Φ .



Foto A 27 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 50 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 28 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 29 - Sedimentos de Fundo da Estação 4 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 30 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 50 % da Classe 0 Φ .

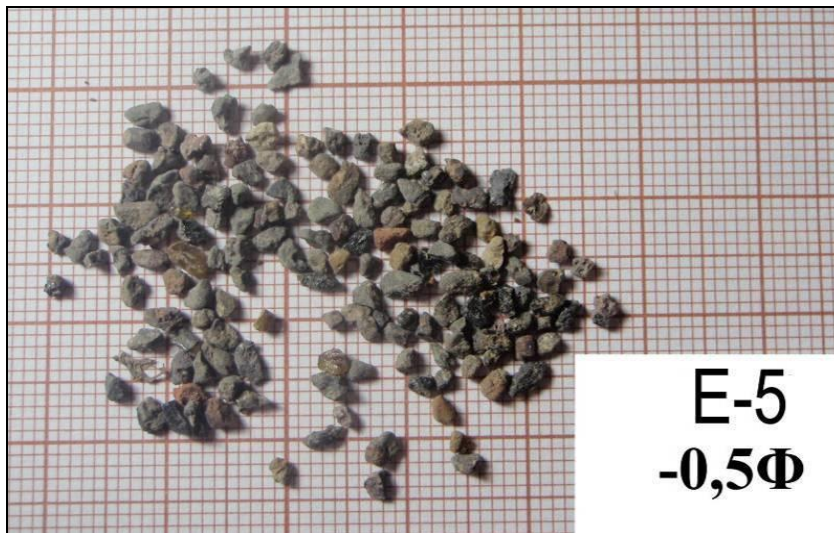


Foto A 31 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 50 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 32 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .



Foto A 33 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 50 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 34 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 35 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 36 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 37 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -3,5 Φ .



Foto A 38 - Sedimentos de Fundo da Estação 5 da Ribeira do Guilherme. Fração identificada de 100 % da Classe -4,5 Φ .



Foto A 39 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 12,5 % da Classe 0 Φ .

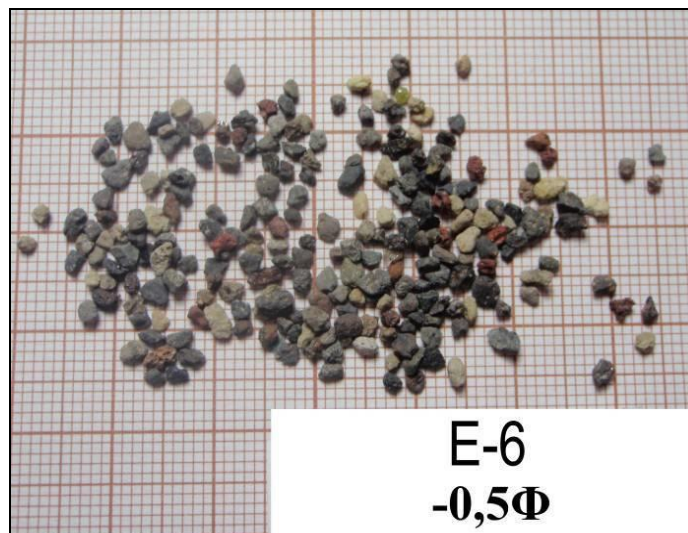


Foto A 40 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 25 % da Classe -0,5 Φ .

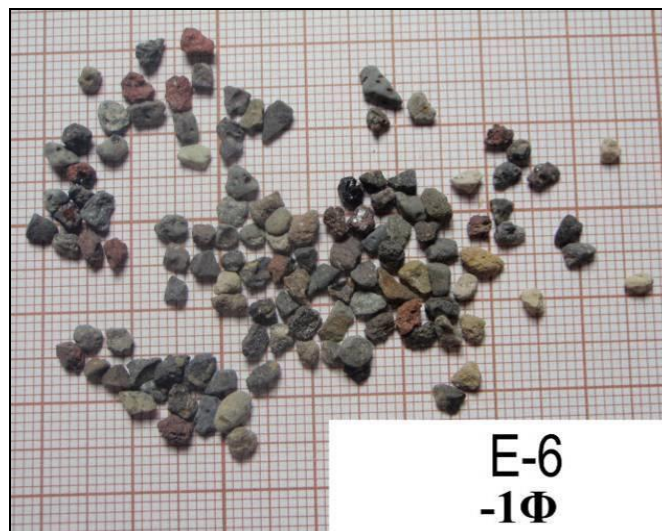


Foto A 41 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .



Foto A 42 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 43 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 44 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .

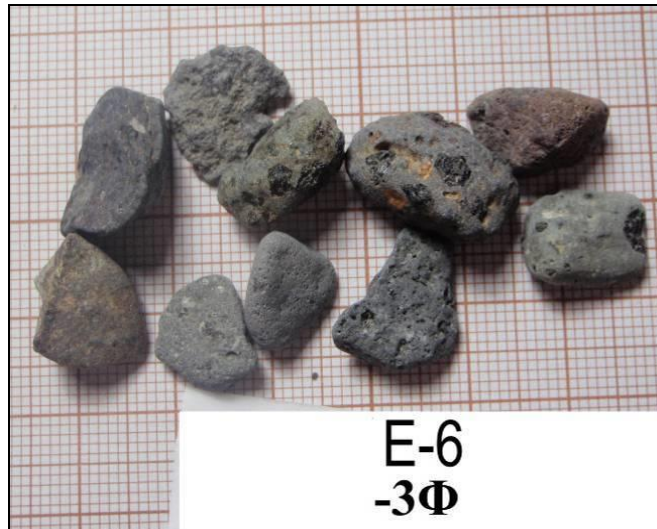


Foto A 45 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 46 - Sedimentos de Fundo da Estação 6 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -3,5 Φ .



Foto A 47 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 12,5 % da Classe 0 Φ .



Foto A 48 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 49 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .



Foto A 50 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 51 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .

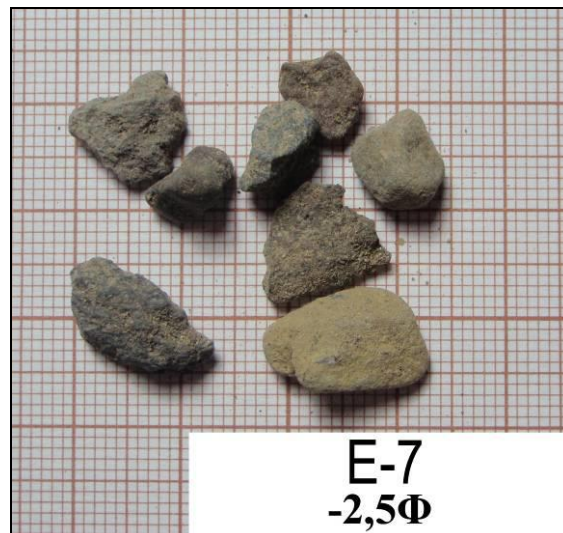


Foto A 52 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 53 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ.



Foto A 54 - Sedimentos de Fundo da Estação 7 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -4 Φ.

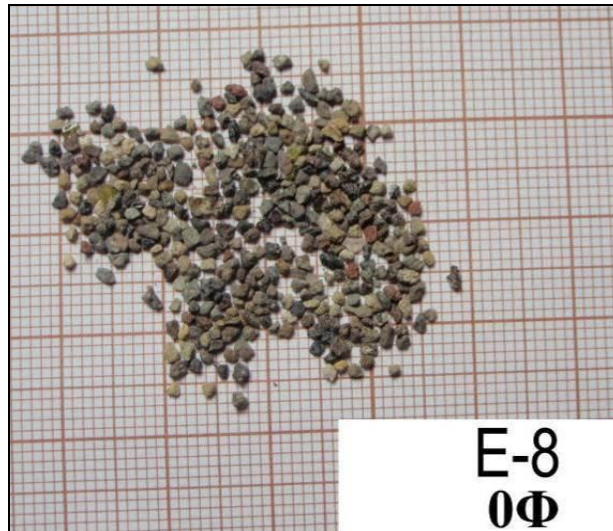


Foto A 55 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 12,5 % da Classe 0 Φ .



Foto A 56 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 25 % da Classe -0,5 Φ .

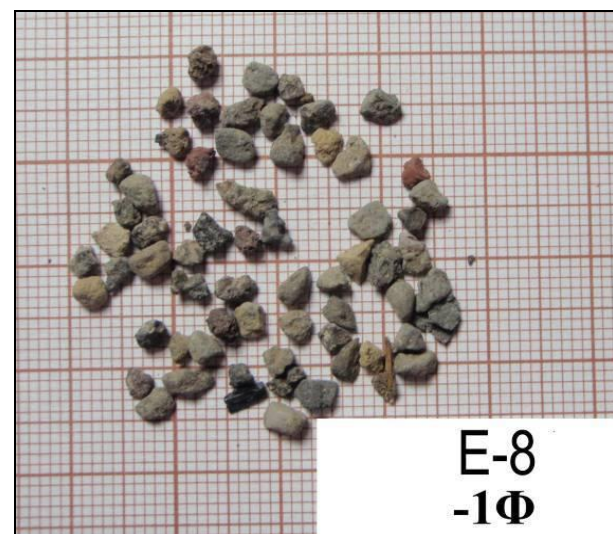


Foto A 57 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .



Foto A 58 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .

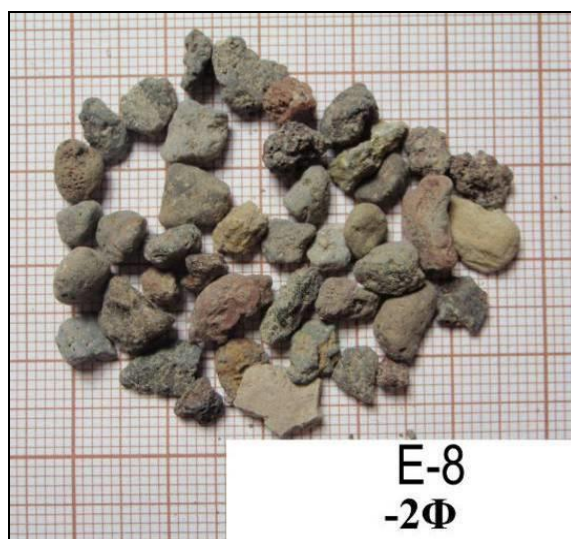


Foto A 59 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 60 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 61 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 62 - Sedimentos de Fundo da Estação 8 da Ribeira da Povoação. Fração identificada de 100 % da Classe -3,5 Φ .

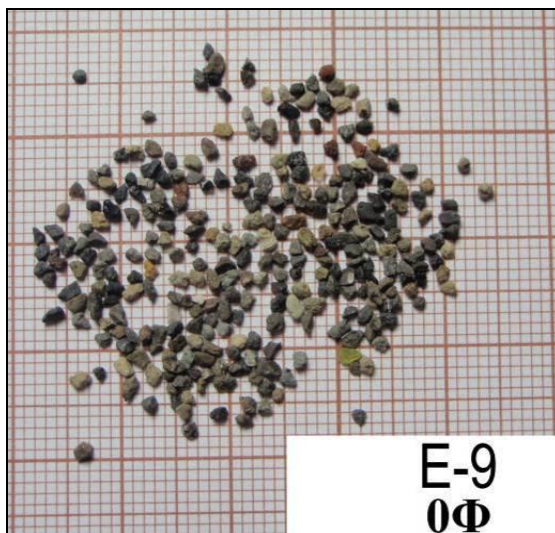


Foto A 63 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 12,5 % da Classe 0 Φ .



Foto A 64 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 25 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 65 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .

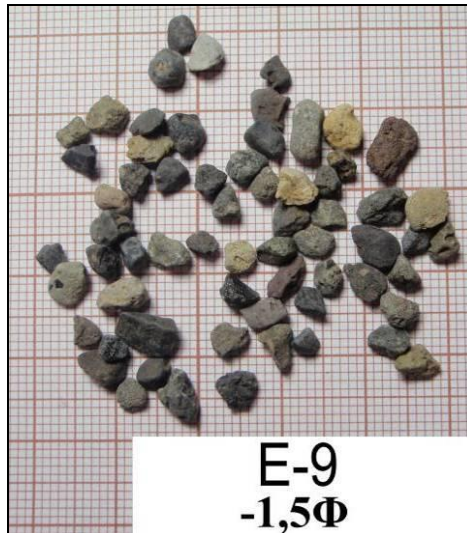


Foto A 66 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .

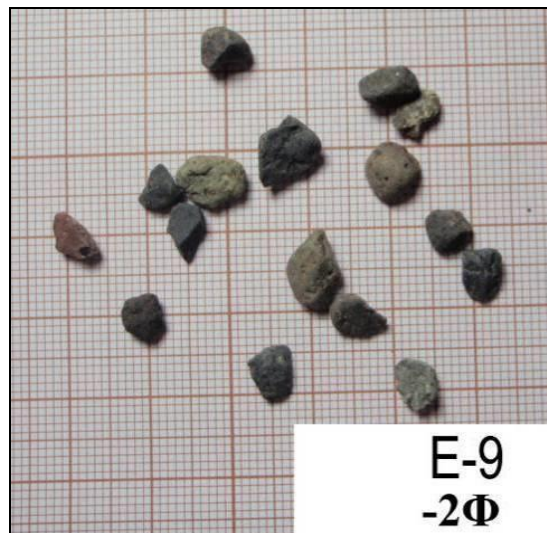


Foto A 67 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .

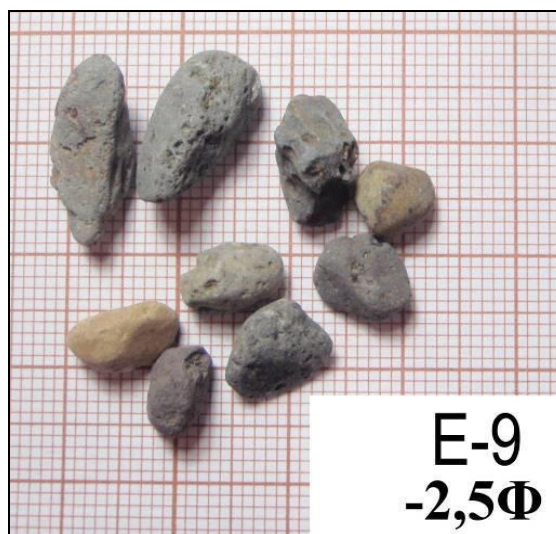


Foto A 68 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .

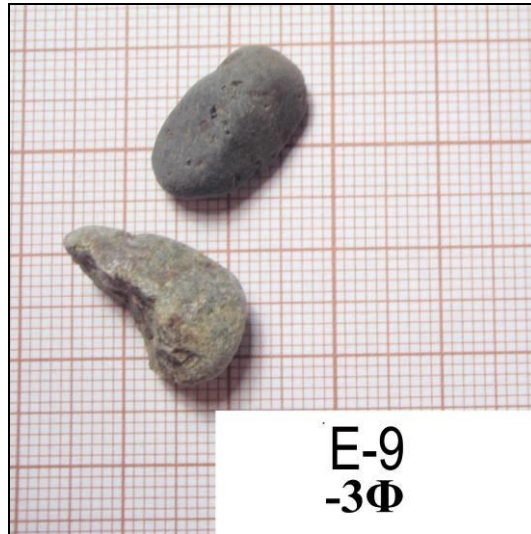


Foto A 69 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .



Foto A 70 - Sedimentos de Fundo da Estação 9 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -4 Φ .

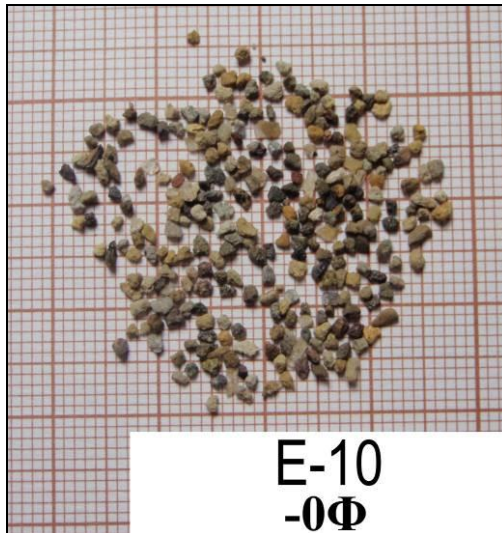


Foto A 71 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 6,25 % da Classe 0 Φ .

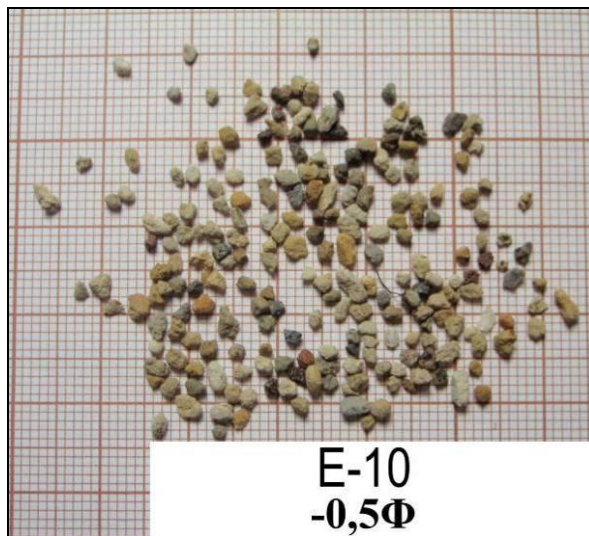


Foto A 72 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0,5 Φ .



Foto A 73 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 50 % da Classe -1 Φ .



Foto A 74 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 75 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .

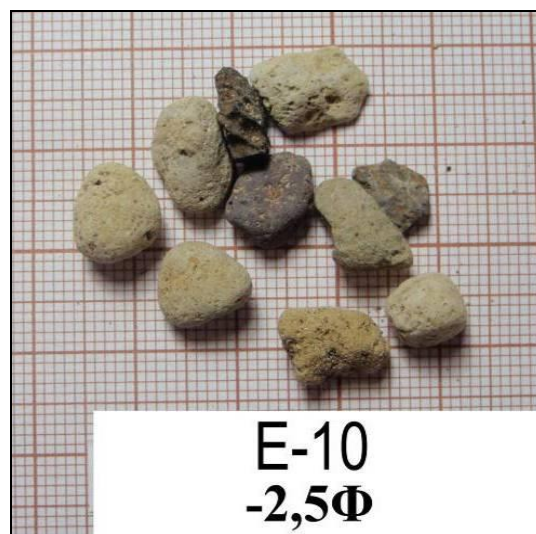


Foto A 76 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 77 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ.

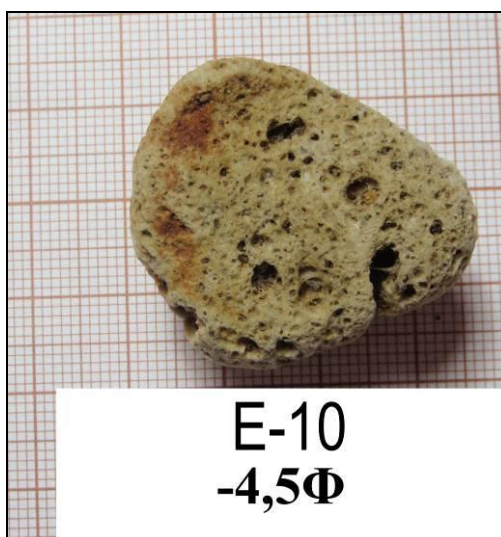


Foto A 78 - Sedimentos de Fundo da Estação 10 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -4,5 Φ.

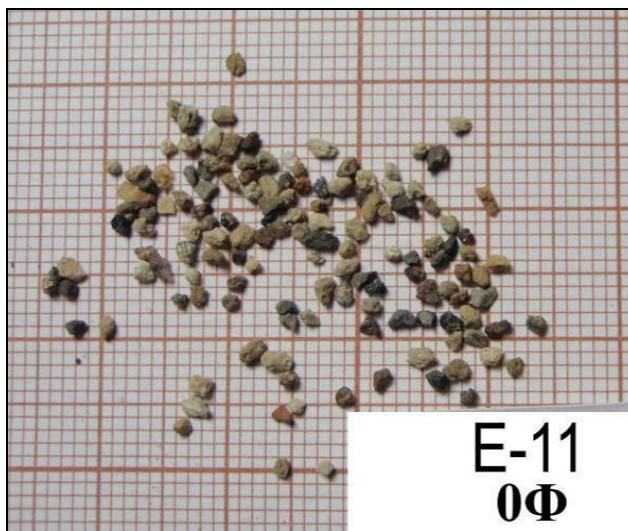


Foto A 79 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 6,25 % da Classe 0 Φ .



Foto A 80 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 12,5 % da Classe -0.5 Φ .



Foto A 81 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 25 % da Classe -1 Φ .



Foto A 82 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -1,5 Φ .



Foto A 83 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2 Φ .



Foto A 84 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -2,5 Φ .



Foto A 85 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -3 Φ .

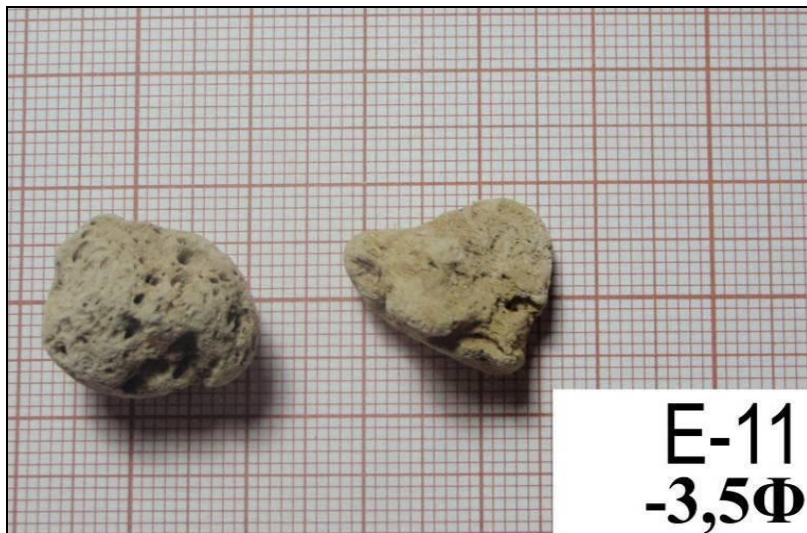


Foto A 86 - Sedimentos de Fundo da Estação 11 da Ribeira das Furnas. Fração identificada de 100 % da Classe -3,5 Φ .

ANEXO III

(REGISTO FOTOGRÁFICO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM)



Foto A 87 - Enquadramento da Estação 1 (Ribeira Grande - Foz) na primeira campanha.



Foto A 87 - Enquadramento da Estação 1 (Ribeira Grande - Foz) na segunda campanha.



Foto A 88 - Enquadramento da Estação 2 (Ribeira Grande - Salto do Cabrito) na primeira campanha.



Foto A 89 - Enquadramento da Estação 3 (Ribeira Grande - Lombadas) na primeira campanha.



Foto A 90 - Enquadramento da Estação 4 (Ribeira do Guilherme - Foz) na primeira campanha.



Foto A 91 - Enquadramento da Estação 4 (Ribeira do Guilherme - Foz) na segunda campanha.



Foto A 92 - Enquadramento da Estação 5 (Ribeira do Guilherme - Moinhos) na primeira campanha.



Foto A 93 - Enquadramento da Estação 5 (Ribeira do Guilherme - Moinhos) na segunda campanha.



Foto A 94 - Enquadramento da Estação 6 (Ribeira da Povoação - Foz) na primeira campanha.



Foto A 95 - Enquadramento da Estação 6 (Ribeira da Povoação - Foz) na segunda campanha.



Foto A 96 - Enquadramento da Estação 7 (Ribeira da Povoação - Centro) na primeira campanha.



Foto A 97 - Enquadramento da Estação 7 (Ribeira da Povoação - Centro) na segunda campanha.



Foto A 98 - Enquadramento da Estação 8 (Ribeira da Povoação - Moitas) na primeira campanha.



Foto A 99 - Enquadramento da Estação 8 (Ribeira da Povoação - Moitas) na segunda campanha.



Foto A 100 - Enquadramento da Estação 9 (Ribeira das Furnas - Foz) na primeira campanha.



Foto A 101 - Enquadramento da Estação 10 (Ribeira das Furnas - Fonte Serra do Trigo) na primeira campanha.



Foto A 102 - Enquadramento da Estação 11 (Ribeira das Furnas - Fonte Gloria Patri) na primeira campanha.

