

**PAULA ALEXANDRA SÁ DA SILVA GONÇALVES**

**CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO SETE-P11 (SETE CIDADES, SÃO  
MIGUEL, AÇORES): IMPLICAÇÕES PARA A HISTÓRIA ERUPTIVA**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
2006**

**PAULA ALEXANDRA SÁ DA SILVA GONÇALVES**

**CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO SETE-P11 (SETE CIDADES, SÃO MIGUEL, AÇORES): IMPLICAÇÕES PARA A HISTÓRIA ERUPTIVA**

**TESE REALIZADA NO ÂMBITO DO MESTRADO EM VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS, DE ACORDO COM O DISPOSTO NO ARTº 14º DO REGULAMENTO DO MESTRADO EM VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS, PUBLICADO EM DIÁRIO DA REPÚBLICA, II SÉRIE, Nº 189, DE 17 DE AGOSTO DE 2000.**

**ORIENTADOR:  
PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MANUEL RODRIGUES PACHECO  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES**

**CO-ORIENTADORA:  
PROFESSORA DOUTORA MARIA GABRIELA PEREIRA DA SILVA QUEIROZ  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
2006**

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	VIII
AGRADECIMENTOS.....	X
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 – Enquadramento geográfico e geoestrutural.....	1
1.2 – Geologia do maciço vulcânico das Sete Cidades .....	4
1.2.1 – Estruturas tectónicas .....	4
1.2.2 – Sismicidade.....	5
1.2.3 – Formas e estruturas vulcânicas.....	6
1.2.4 – Vulcanoestratigrafia .....	9
1.2.4.1- Grupo Inferior .....	10
1.2.4.2- Grupo Superior.....	10
<b>2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO DEPÓSITO SETE-P11 .....</b>	<b>14</b>
2.1 – Trabalhos anteriores.....	14
2.2 – Vulcanoestratigrafia.....	16
2.2.1 – Metodologia .....	16
2.2.2 – Estratigrafia fina.....	21
2.2.2.1 – Unidade 1 – U1.....	33
2.2.2.2 – Unidade 2 – U2.....	41
2.3 – Isopacas e isopletras.....	50
2.3.1 – Depósito total.....	50
2.3.2 – Unidade 1 .....	53
2.3.3 – Unidade 2 .....	55
2.4 – Caracterização granulométrica .....	57
2.4.1 – Metodologia .....	57
2.4.2 – Granulometria.....	58

2.4.3 – Análise dos componentes.....	62
2.5 – Caracterização morfométrica .....	66
2.5.1 – Metodologia .....	66
2.5.2 – Esquema de classificação de cinzas vulcânicas.....	68
2.5.3 – Apresentação dos dados .....	74
2.6 – Caracterização petrográfica .....	79
<b>3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ELEMENTOS GRANULOMÉTRICOS E TEXTURAIIS DO DEPÓSITO</b>	
<b>SETE-P11.....</b>	<b>80</b>
3.1 – Elementos granulométricos .....	80
3.1.1 – Conceitos estatísticos da análise de componentes principais .....	81
3.1.2 - Análise de dados.....	83
3.2 – Elementos texturais .....	94
3.2.1- Conceitos estatísticos do método de Clusters .....	94
3.2.2 - Análise de dados.....	96
<b>4. HISTÓRIA ERUPTIVA .....</b>	<b>100</b>
4.1 – Unidade 1 .....	101
4.2 – Unidade 2 .....	104
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO I – Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-Pb11 .....</b>	<b>A-1</b>
<b>ANEXO II – Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-P11 .....</b>	<b>A-2</b>
<b>ANEXO III – Coordenadas dos locais de amostragem.....</b>	<b>A-5</b>

<b>ANEXO IV</b> – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11.....	A-6
<b>ANEXO V</b> – Dados da análise de componentes principais.....	A-17
<b>ANEXO VI</b> – Dados da análise de componentes principais da U1 .....	A-22
<b>ANEXO VII</b> – Dados da análise de componentes principais da U2.....	A-25
<b>ANEXO VIII</b> – Dados da análise de <i>cluster</i> .....	A-29

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1.1</b> Carta batimétrica da Plataforma dos Açores ( <i>in</i> : Ferreira, 2000, simplificado de Lourenço <i>et al.</i> , 1997).....	1
<b>Fig. 1.2</b> Localização geográfica do maciço vulcânico das Sete Cidades (coordenadas UTM).....	2
<b>Fig. 1.3</b> Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA - Crista Médio-Atlântica; ZFEA - Zona de Fractura Este dos Açores; RT- Rift Terceira; FG - Falha da Glória (Gaspar <i>et al.</i> , 1999 <i>in</i> : Ferreira, 2000). . . . .	2
<b>Fig. 1.4</b> Regiões geomorfológicas definidas por Zbyszewsky (1961) para a ilha de São Miguel. Legenda: 1- Maciço Vulcânico das Sete Cidades; 2- Região dos Picos; 3- Complexo Vulcânico da Serra de Água de Pau; 4- Planalto da Achada das Furnas; 5- Vulcão das Furnas; 6- Vulcão da Povoação; 7- Região da Tronqueira e do Nordeste; 8- Plataforma Litoral do Norte ( <i>in</i> : Wallenstein, 1999). . . . .	4
<b>Fig. 1.5</b> Principais estruturas tectónicas do maciço vulcânico das Sete Cidades ( <i>in</i> : Queiroz, 1997). . . . .	5
<b>Fig. 1.6</b> Distribuição dos centros eruptivos no maciço vulcânico das Sete Cidades, segundo Queiroz (1997). . . . .	6
<b>Fig. 1.7</b> Escala vulcanoestratigráfica do maciço vulcânico das Sete Cidades ( <i>in</i> : Queiroz, 1997). . . . .	9
<b>Fig. 2.1</b> Isopacas do depósito Sete-P11 (Queiroz, 1997). . . . .	14
<b>Fig. 2.2</b> Localização dos cortes geológicos do depósito Sete-P11. . . . .	22
<b>Fig. 2.3</b> Corte geológico ilustrativo da sequência eruptiva do depósito Sete-P11, no Pico da Cruz (PL1). . . . .	24
<b>Fig. 2. 4a - g</b> Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11. . . . .	26/32
<b>Fig. 2.5</b> Corte esquemático de PL11. . . . .	47
<b>Fig. 2.6</b> Corte esquemático de PL17. . . . .	48
<b>Fig. 2.7</b> Isopacas do depósito Sete-P11 (Espessura em centímetros) . . . . .	51
<b>Fig. 2.8</b> Mapa de isopleias relativas à pedra-pomes (medidas em cm).....	52
<b>Fig. 2.9</b> Mapa de isopleias relativas aos líticos (medidas em cm) . . . . .	52
<b>Fig. 2.10</b> Mapa de isopacas do depósito Sete-P11 para a zona de Ponta Delgada (Dinis, 2006) . . . . .	53

<b>Fig. 2.11</b> Isopacas da U1 (medidas em centímetros) .....	54
<b>Fig. 2.12</b> Mapa de isopletas da pedra-pomes da U1 (medidas em cm).....	54
<b>Fig. 2.13</b> Mapa de isopletas dos líticos da U1 (medidas em cm).....	54
<b>Fig. 2.14</b> Isopacas da Unidade 2 (medidas em centímetros).....	55
<b>Fig. 2.15</b> Mapa de isopletas da pedra-pomes da U2 (medidas em cm).....	56
<b>Fig. 2.16</b> Mapa de isopletas dos líticos da U2 (medidas em cm).....	56
<b>Fig. 2.17</b> Parâmetros granulométricos da U1 (gráfico $\sigma\phi$ versus $\phi$ com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971). .....	60
<b>Fig. 2.18</b> Parâmetros granulométricos da U2 (gráfico $\sigma\phi$ versus $\phi$ com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971). .....	61
<b>Fig. 2.19</b> Parâmetros granulométricos das amostras da <i>facies</i> proximal da U2 (gráfico $\sigma\phi$ versus $\phi$ com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971).....	61
<b>Fig. 2.20</b> Histograma da distribuição das populações granulométricas. Legenda: PP- Pedra-pomes; Lit.- Líticos; Crist.- Cristais; N.Sep.- Não Separados. ....	63
<b>Fig. 2.21</b> Histograma da distribuição da população granulométrica da amostra SP2.1. Legenda: PP- Pedra-pomes; Lit.- Líticos; Crist.- Cristais; N.Sep.- Não Separados. ....	64
<b>Fig. 2.22</b> Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente o parâmetro forma dos clastos (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2). .....	75
<b>Fig. 2.23</b> Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente o parâmetro contorno dos clastos (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2). .....	76
<b>Fig. 2.24</b> Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente o parâmetro estruturas à superfície (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2). .....	76
<b>Fig. 2.25</b> Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente o parâmetro abundância de vesículas (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2). .....	77
<b>Fig. 2.26</b> Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente o parâmetro forma das vesículas (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2). .....	77

<b>Fig. 2.27</b> Classificação das amostras do depósito Sete-P11, com base no diagrama <i>alcalis versus sílica</i> (Le Bas <i>et al.</i> , 1986) com dados de Queiroz (1997) .....	79
<b>Fig. 3.1</b> Representação gráfica das componentes principais ( <i>Scree Plot</i> ) .....	84
<b>Fig. 3.2</b> Componente principal 1 (CP1) .....	85
<b>Fig. 3.3</b> Componente principal 2 (CP2) .....	85
<b>Fig. 3.4</b> Diagrama de scores CP1/CP2 do depósito Sete-P11. Histogramas de algumas amostras .....	86
<b>Fig. 3.5</b> Componente principal 1 (CP1) da U1. ....	89
<b>Fig. 3.6</b> Componente principal 2 (CP2) da U1. ....	89
<b>Fig. 3.7</b> Diagrama de <i>scores</i> CP1 <i>versus</i> CP2 da U1. Histogramas de algumas amostras .....	90
<b>Fig. 3.8</b> Componente principal 1 (CP1) da U2. ....	92
<b>Fig. 3.9</b> Componente principal 2 (CP2) da U2. ....	92
<b>Fig. 3.10</b> Diagrama de <i>scores</i> CP1 <i>versus</i> CP2 da U2. Histogramas de algumas amostras .....	93
<b>Fig. 3.11</b> Dendograma das amostras do depósito Sete-P11 .....	97

---

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 2.1</b> Esquema de classificação dos clastos (Fisher, 1961; Schimid, 1981). .....	21
<b>Tabela 2.2</b> Amostras com razão pedra-pomes/líticos inferior a 1. ....	65
<b>Tabela 2.3</b> Esquema usado para a classificação de cinzas vulcânicas (modificado de: Dellino e La Volpe, 1996).....	73
<b>Tabela 2.4</b> Médias aritméticas para cada um dos parâmetros morfológicos. ....	74
<b>Tabela 3.1</b> Variância total das duas componentes principais extractadas para o depósito Sete-P11 .....	84
<b>Tabela 3.2</b> Variância total das componentes principais da Unidade 1 .....	88
<b>Tabela 3.3</b> Variância total das componentes principais da Unidade 2.....	91

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Foto. 2.1</b> Sequência eruptiva subjacente ao depósito Sete-P11 (PL27, ver Fig. 2.2). Nota: o depósito Sete-P10 não está presente nesta vertente.....	17
<b>Foto. 2.2</b> Aspecto do depósito Sete-Pb11 (AL6) .....	18
<b>Foto. 2.3</b> Sequência eruptiva superior ao depósito Sete-P11 (em PL2, ver Fig. 2.2) .....	20
<b>Foto. 2.4</b> Figura de carga (PL1, ver Fig. 2.2) .....	23
<b>Foto. 2.5</b> U1 no Pico da Cruz (PL1).....	33
<b>Foto. 2.6</b> Pedra-pomes característica da U1.....	34
<b>Foto. 2.7</b> Pedra-pomes (a) e líticos (b) da zona intermédia da U1 (PL1).....	35
<b>Foto. 2.8</b> Base do depósito Sete-P11 em PL8 (ver Fig. 2.2).....	37
<b>Foto. 2.9</b> Unidade 1 estratificada em PL2 a) vista geral; b) pormenor dos leitos finos.....	38
<b>Foto. 2.10</b> Dimensão da pedra-pomes em PL13 (ver Fig. 2.2) .....	39
<b>Foto. 2.11</b> Aspecto da U1 (PL22, ver Fig. 2.2).....	40
<b>Foto. 2.12</b> Aspecto da U1 na vertente E (PL52, ver Fig. 2.2).....	41
<b>Foto. 2.13</b> U2 no Pico da Cruz (PL1, ver Fig. 2.2). .....	42
<b>Foto. 2.14</b> Leito cinzas A1 em: a) PL1; e b) PL65.....	43
<b>Foto 2.15</b> Aspecto do leito L1 (PL1).....	44
<b>Foto 2.16</b> Alguns níveis da U2 (PL1).....	45
<b>Foto 2.17</b> Aspecto de alguns leitos da U2 (PL1) .....	46
<b>Foto 2.18</b> Aspecto do depósito Sete-P11 em PL11 .....	47
<b>Foto. 2.19</b> U2 na vertente E (PL17).....	48

<b>Foto. 2.20</b> Recolha de material que constitui um dos leitos do depósito Sete-P11. ....	57
<b>Foto 2.21</b> Suporte da amostra SP2.1 (PL1). ....	67
<b>Foto 2.22</b> Pedra-pomes com forma irregular (SP6). ....	69
<b>Foto 2.23</b> Pedra-pomes com a forma <i>Blocky and equant</i> (SP13). ....	69
<b>Foto 2.24</b> Pedra-pomes com forma arredondada (SP13). ....	70
<b>Foto 2.25</b> Pedra-pomes com partículas aderentes (SP2.1). Legenda: P – partículas aderentes .....	71
<b>Foto 2.26</b> Pedra-pomes com fendas lineares (SP2.1). Legenda: F – fenda. ....	71
<b>Foto 2.27</b> Pedra-pomes com muitas vesículas (SP12). ....	72
<b>Foto 2.28</b> Pedra-pomes com poucas vesículas (SP6). ....	72
<b>Foto 2.29</b> Pedra-pomes com vesículas deformadas (SP1).....	73
<b>Foto 2.30</b> Pedra-pomes com vesículas esféricas e ovóides (SP1).....	73

## AGRADECIMENTOS

Na realização deste trabalho deparei-me com diversas dificuldades que foram superadas com a ajuda e apoio de diversas pessoas. Deste modo, não posso deixar de expressar a minha profunda gratidão a todos os que me ajudaram e me acompanharam até ao *terminus* desta tese. De um modo particular agradeço:

- à Professora Doutora Teresa Ferreira e à Professora Doutora Gabriela Queiroz, actual e anterior Directora do Departamento de Geociências da Universidade dos Açores pelo apoio demonstrado e por terem facultados todas as condições para a realização desta tese;
- ao Professor Doutor João Luís Gaspar e à Professora Doutora Gabriela Queiroz, anterior e actual Director do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores pelas condições proporcionadas para a elaboração desta tese;
- ao meu Orientador Científico, Professor Doutor José Pacheco, pelo apoio, disponibilidade, troca de impressões, revisão científica dos textos, sugestões, incentivo e amizade que demonstrou ao longo deste trabalho;
- à minha Co-Orientadora Científica, Professora Doutora Gabriela Queiroz, pela troca de impressões e disponibilidade demonstradas;
- a todos os docentes do curso de Mestrado;
- à colega e grande amiga Ana Gomes, pela ajuda no trabalho de campo, pela revisão de textos e fornecimento de bibliografia, troca de ideias, em suma pelo apoio incondicional, amizade e carinho que sempre demonstrou;

- ao amigo, Luís Dinis, pelo apoio, pela revisão de textos, pela troca de ideias e pela amizade com que sempre demonstrou;
- 
- à colega e amiga Fátima Viveiros pelo fornecimento de bibliografia, troca de ideias e pela amizade disponibilizada;
- aos meus colegas de mestrado, em especial a Raquel Ferreira e Adriano Pimentel, pelo fornecimento de dados e troca de ideias;
- aos técnicos do Departamento de Geociências e do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, pela disponibilidade e amizade;
- ao Jorge Medeiros, técnico do Departamento de Biologia pela ajuda e disponibilidade na observação das rochas ao microscópio electrónico;
- aos meus pais, Joaquim e Alcina, pelo apoio, encorajamento, carinho e amor demonstrados ao longo de todo o meu percurso académico;
- à minha irmã, Sílvia, pela disponibilidade em me acompanhar no trabalho de campo e pelo carinho e amor demonstrados;
- à minha família e amigos que sempre me apoiaram ao longo destes anos.

## RESUMO

Na extremidade W da ilha de São Miguel, no arquipélago dos Açores, localiza-se o maciço das Sete Cidades, formado por um vulcão central com caldeira, numerosos cones de escórias, alguns cones de pedra-pomes, domos e *maars*. No decurso da história eruptiva do vulcão, registaram-se eventos tanto explosivos como efusivos, tendo o material extruído dado origem a depósitos vulcanoclásticos e escoadas lávicas (Queiroz, 1987).

O depósito Sete-P11 é o resultado de uma erupção explosiva, com centro no interior da caldeira, ocorrida há  $2220 \pm 70$  anos B.P., depois de um período de repouso do vulcanismo intracaldeira (Queiroz, 1997). De um modo geral, é um depósito constituído por *lapilli* e cinzas pomíticas, rico em líticos, apresentando cristais soltos de feldspato. Evidencia grande dispersão, tanto na direcção NE-SW como para SE, provavelmente por corresponder à maior erupção ocorrida no Vulcão das Sete Cidades nos últimos 5000 anos.

A estratigrafia, a granulometria e as características morfológicas dos clastos que constituem o depósito Sete-P11 forneceram neste trabalho informações preciosas no que diz respeito aos mecanismos de fragmentação e de transporte a que os clastos estiveram sujeitos durante a erupção.

Este estudo permitiu concluir que o depósito é constituído por duas unidades principais. A unidade de base (U1) é constituída por *lapilli* pomítico de queda, médio a grosseiro, verificando-se a ocorrência de alguns blocos de pedra-pomes e de líticos. As análises granulométricas e morfológicas permitiram verificar que a pedra-pomes apresenta características que a associam à fragmentação magmática. Durante esta primeira fase da erupção a água teve um papel menos importante nos processos eruptivos.

A unidade seguinte é um pouco mais complexa devido à sua heterogeneidade, resultante de uma maior entrada de água no sistema. Deste modo, o depósito apresenta uma sucessão de leitos de lapilli pomítico, por vezes rico em líticos, e leitos de cinzas pomíticas. Predominam os leitos de queda, no entanto distinguem-se alguns de fluxo do tipo *surge*. Os processos de fragmentação que lhes deram origem são predominantemente hidromagmáticos.

## ABSTRACT

Sete Cidades volcano is located on the western part of the San Miguel Island (Azores). It is a central volcano with a caldera and numerous scoria cones, some pumice cones, domes and *maars*. In the course of its eruptive history explosive and effusive eruptions were produced, originating pyroclastic deposits and lava flows (Queiroz, 1987).

The Sete-P11 deposit, with an age about 2220±70 years B.P., is the result of an explosive eruption from the caldera (Queiroz, 1997). It is a deposit of pumice *lapilli* and ashes, rich in lithics, and some loose feldspar crystals. It shows considerable dispersal, both in NE-SW as in SE directions.

The stratigraphy, granulometric and morphological characteristics of the clasts that compose the Sete-P11 deposit gave valuable information concerning fragmentation and transport mechanisms, where the clasts were subject to during the eruption.

The present work presents evidence that this deposit has two principal units, resulting from two eruptive phases characterised by distinct eruptive processes. The lower unit (U1) is formed by medium to large pumice *lapilli*, with some scattered coarse pumice and lithic blocks. The granulometric and morphological analysis showed that the pumice presents characteristics correlated to magmatic fragmentation. During this first phase of the eruption external water had a minor role on the eruptive process.

The upper unit is more complex due to its heterogeneity. It is a succession of alternating pumice *lapilli* layers and ash layers mainly deposited by pyroclastic fall although some of the layers are surge deposits. Water/magma interaction dominated throughout the production of this unit and fragmentation was mainly hydromagmatic.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOESTRUTURAL

Situado no Atlântico N, o Arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas, que se estendem ao longo de 500 Km, segundo uma direcção WNW-ESE, e que emergem de uma plataforma triangular (Fig.1.1) definida pela curva batimétrica dos 2000 m (Needham & Francheteau, 1974).

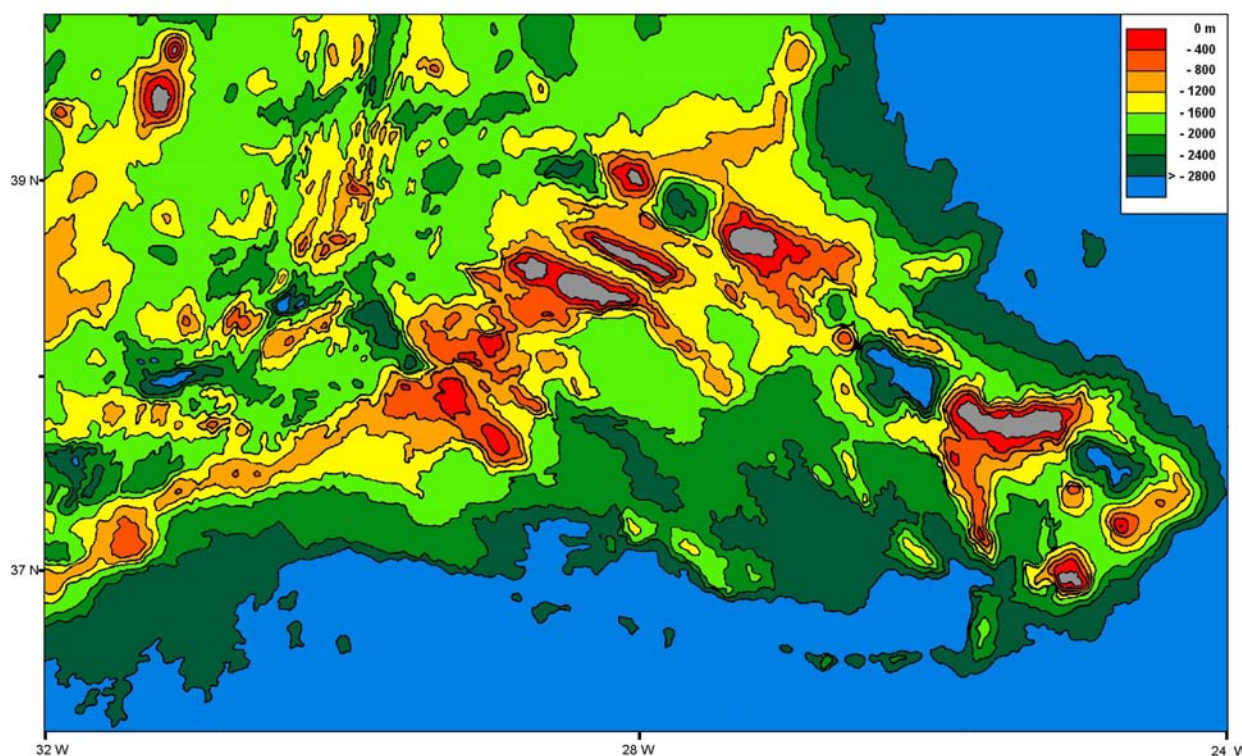


Fig. 1.1- Carta batimétrica da Plataforma dos Açores (Ferreira, 2000, simplificado de Lourenço *et al.*, 1997).

O maciço vulcânico das Sete Cidades situa-se na extremidade W da ilha de São Miguel, entre as latitudes 37°47' e 37°55'N e as longitudes 25°42' e 25°52'W. Na figura 1.2 apresenta-se a localização geográfica do maciço vulcânico das Sete Cidades na ilha de São Miguel.

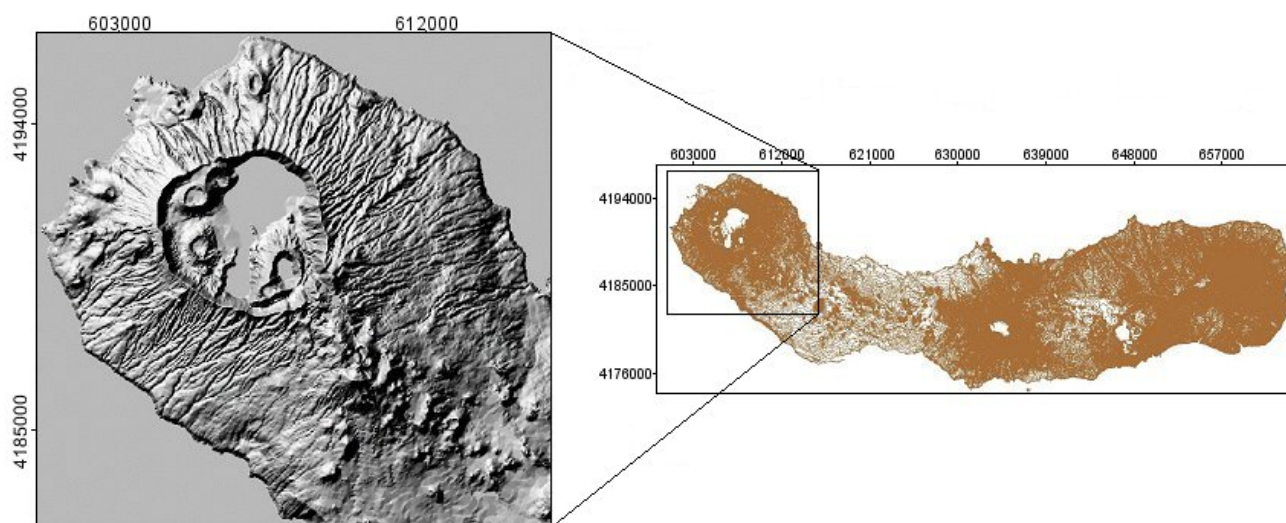


Fig. 1.2- Localização geográfica do maciço vulcânico das Sete Cidades (coordenadas UTM, zona 26S).

Do ponto de vista geodinâmico, os Açores encontram-se localizados numa zona condicionada pela junção tripla das placas litosféricas Americana, Euro-Asiática e Africana. Este ponto triplo condiciona a dinâmica da região, através de três importantes estruturas tectónicas (Fig. 1.3): a Crista Médio-Atlântica, o *Rift* da Terceira (*s.l.*) e a Zona de Fractura Este dos Açores (Krause e Watkins, 1970; Laughton *et al.*, 1972; Searle, 1980).

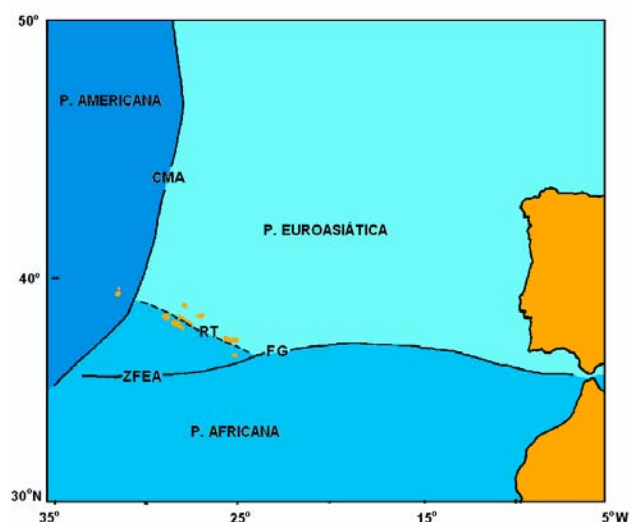


Fig. 1.3- Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA – Crista Médio-Atlântica; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – Rift Terceira; FG – Falha da Glória (Gaspar *et al.*, 1999 *in*: Ferreira, 2000).

A **Crista Médio-Atlântica (CMA)** é um acidente tectónico activo, que traça o limite entre a placa Americana e as placas Euro-Asiática e Africana. Esta estrutura constitui um limite divergente de placas, apresentando a N dos Açores uma orientação de N10°E e a S do arquipélago uma direcção NE-SW (e.g. Searle, 1980; Údias, 1980; Madeira e Ribeiro, 1990). Esta mudança de orientação resulta do deslocamento dextrógiro, segundo falhas transformantes, de pequenos troços do *rift* (Madeira e Ribeiro, 1990).

A **Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA)** é uma estrutura com uma direcção geral E-W, que se estende desde a Crista Médio-Atlântica até ao Estreito de Gibraltar, estando dividida em dois segmentos (Krause, 1965 *in*: Ferreira, 2000). O primeiro segmento, compreendido entre a Crista Médio-Atlântica e o meridiano 24°W, é alvo de alguma controvérsia, sendo considerado por alguns autores sismicamente inactivo (e.g. Laughton & Whitmarsh, 1974 *in*: Ferreira, 2000; Searle, 1980) embora outros o considerem activo (e.g. Krause & Watkins, 1970; Forjaz, 1984 *in*: Ferreira, 2000; Nunes, 1991) O segundo segmento, compreendido entre a ilha de Santa Maria e o Estreito de Gibraltar, é sismicamente activo, sendo denominado por Falha da Glória (e.g. Laughton *et al.*, 1972; Madeira, 1998) e apresenta desligamento direito puro (Laughton *et al.*, 1972; Údias, 1980).

O **Rift da Terceira (RT)** (*s.l.*) foi definido por Machado (1959) como uma série de acidentes tectónicos, com uma direcção geral NW-SE, que se estende desde a Bacia Ocidental da Graciosa até à Fossa das Formigas. Esta estrutura comporta-se como um centro de expansão de fundos oceânicos do tipo *leaky transform* (e.g. Krause & McGregor, 1973; Searle, 1980; Madeira e Ribeiro, 1990).

## 1.2. GEOLOGIA DO MACIÇO VULCÂNICO DAS SETE CIDADES

O maciço vulcânico das Sete Cidades corresponde a uma das oito regiões geomorfológicas definidas por Zbyszewsky (1961) para a ilha de São Miguel (Fig. 1.4). Ocupando uma área de 110 Km<sup>2</sup>, esta região é circundada na sua maior parte pelo Oceano Atlântico, à excepção do lado SE, onde coalesce com Região dos Picos.

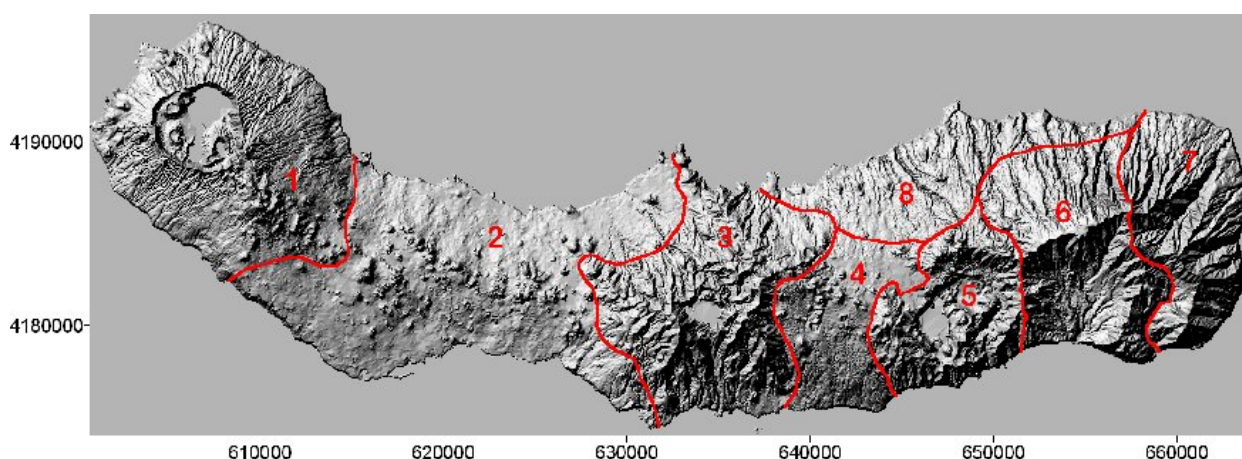


Fig. 1.4 – Regiões geomorfológicas definidas por Zbyszewsky (1961) para a ilha de São Miguel. Legenda: 1 - Maciço Vulcânico das Sete Cidades; 2 - Região dos Picos; 3 - Complexo Vulcânico da Serra de Água de Pau; 4 - Planalto da Achada das Furnas; 5 - Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Região da Tronqueira e do Nordeste; 8 - Plataforma Litoral do Norte (Wallenstein, 1999).

### 1.2.1. Estruturas tectónicas

O maciço das Sete Cidades exhibe um sistema de falhas predominante (Fig. 1.5), com uma orientação NW-SE, coincidente com a direcção regional do *Rift* da Terceira. Esta direcção pode ser observada na vertente NW do vulcão central, sendo evidente no Graben dos Mosteiros. Algumas destas falhas atravessam a caldeira e estendem-se para SE, prolongando-se pela Região dos Picos.

Um segundo conjunto de falhas, menos proeminente, desenvolve-se segundo a direcção EW (Queiroz, 1990 e 1997). Queiroz (1990 e 1997) admite, ainda, a existência

de um conjunto de falhas circulares, materializadas pelo arranjo anelar de alguns filões e pelo modo como se dispõem alguns cones de pedra-pomes e *maars*, no interior da caldeira.

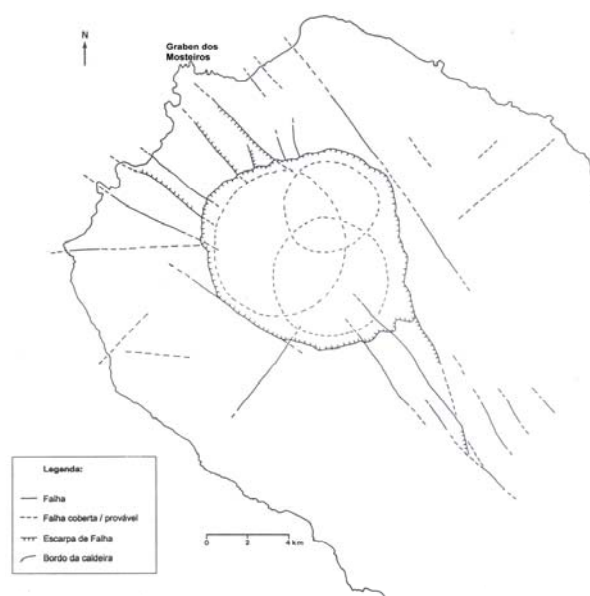


Fig. 1.5- Principais estruturas tectónicas do maciço vulcânico das Sete Cidades (*in*: Queiroz, 1997).

### 1.2.2. Sismicidade

No que concerne à sismicidade, verifica-se que a actividade registada no maciço é mais baixa do que a das áreas sismogénicas vizinhas (Nunes, 1991; Queiroz, 1997), nomeadamente o Vulcão do Fogo e o Vulcão das Furnas. Por este motivo, Queiroz (1997) definiu o maciço como uma “*zona de sombra*”. Há, no entanto, a registar alguns períodos de maior actividade sísmica, onde se destacam os *swarms* sísmicos registados em 1992 e 1996 (Forjaz *et al.*, 1996 *in*: Queiroz, 1997), e mais recentemente, as crises sísmicas de 1998 e 1999. A crise de 1998 durou vários meses, tendo ocorrido alguns sismos sentidos com a intensidade máxima de V-VI (escala de Mercalli modificada) (Anuário Sismológico de Portugal, 1998). A crise de 1999 estendeu-se por 2 meses, tendo-se registado 133 sismos, nos dois primeiros dias do mês de Junho (SIVISA, 1999).

### 1.2.3. Formas e estruturas vulcânicas

A morfologia do maciço vulcânico das Sete Cidades é muito diversificada (Fig. 1.6), apresentando diversas formas e estruturas vulcânicas, tais como, um vulcão central com caldeira, cones de escórias, cones de pedra-pomes, *maars* (s.l.) e domos (Queiroz, 1997).

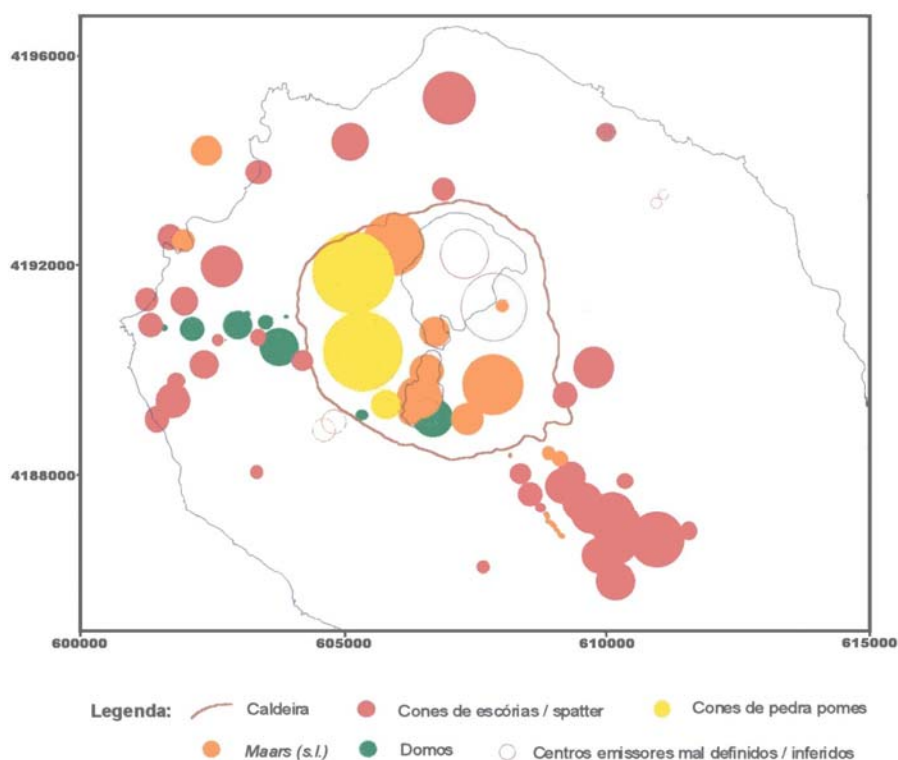


Fig. 1.6- Distribuição dos centros eruptivos no maciço vulcânico das Sete Cidades, segundo Queiroz (1997).

#### Vulcão central com caldeira

O Vulcão das Sete Cidades é um edifício resultante de um conjunto de processos eruptivos de diferentes estilos, magnitudes e duração. No decurso dos diversos processos eruptivos foi extruído material que deu origem a depósitos vulcanoclásticos e escoadas lávicas (Queiroz, 1997). Atendendo à classificação de Pike e Clow (1981 *in*:

Cas e Wright, 1987), Queiroz (1997) classifica este vulcão como um estratovulcão de “classe 6”, visto ser um aparelho de características alcalinas com caldeira.

Sob o ponto de vista morfométrico, este aparelho tem uma altitude máxima de 845 m, no vértice geodésico do Pico da Cruz e um diâmetro basal médio de 12 km (Queiroz, 1997). Admite-se que o volume médio total do vulcão é da ordem dos 250 Km<sup>3</sup> (Pike e Clow, 1981 *in*: Cas e Wright, 1987), tendo a parte emersa cerca de 45 Km<sup>3</sup> (Queiroz, 1997).

A formação da actual caldeira do Vulcão das Sete Cidades desenvolveu-se segundo um modelo trifásico. A primeira fase ocorreu há 36000 anos com o colapso do edifício principal. A segunda fase desenrolou-se há 29000 anos, e foi responsável pelo colapso do bordo NW, levando ao alargamento da caldeira primitiva. Há 16000 anos, teve lugar a última fase, marcada pelo colapso dos sectores N e NE. Actualmente, a caldeira apresenta um contorno aproximadamente circular, com um diâmetro de cerca de 5 Km, tendo uma profundidade média de 350 m (Queiroz, 1997).

### **Cones de escórias**

Os cones de escória são edifícios vulcânicos monogenéticos formados pela acumulação de materiais piroclásticos de natureza basáltica (*s.l.*). São formas vulcânicas associadas ao vulcanismo do tipo estromboliano e/ou havaiano (*e.g.* Macdonald, 1972 *in*: Wallenstein, 1999; Blackburn *et al.*, 1976; Head & Wilson, 1989; Francis, 1993), sendo no maciço das Sete Cidades as estruturas vulcânicas mais frequentes, num total de 40 (Queiroz, 1997). A sua distribuição não é uniforme (Fig. 1.6), estando presentes apenas no exterior da caldeira, e preferencialmente, nos flancos SE e W (Queiroz, 1997).

### **Cones de pedra-pomes**

Os cones de pedra-pomes são estruturas vulcânicas formadas pela acumulação de pedra-pomes e cinzas, resultante de erupções de carácter subpliniano ou pliniano, com

formação de colunas eruptivas, que podem atingir grandes altitudes (Cas e Wright, 1987).

Segundo Queiroz (1997), este tipo de actividade teve lugar apenas no interior da caldeira, sendo os cones da Caldeira do Alferes, da Caldeira Seca e o edifício a W da Lagoa Verde ilustrativos deste tipo de estruturas (Fig.1.6).

### **Maars**

Os *maars* (s.l.) são crateras vulcânicas, geralmente, monogenéticas, produzidas por erupções freáticas ou hidromagmáticas (Cas e Wright, 1987). Os *maars* (s.l.) apresentam diferentes aspectos morfológicos, podendo ser divididos em três tipos: 1) os anéis de tufos (*tuff rings*); 2) os cones de tufos (*tuff cones*); e 3) os *maars* (s.s.) ou *maars* propriamente ditos (Fisher e Smincke, 1984; Cas e Wright, 1987; Chester, 1993).

Os vários *maars* (s.l.) identificados por Queiroz (1997) (Fig. 1.6) incluem *maars* (s.s.), cones de tufos e anéis de tufos e localizam-se na costa NW do maciço e no interior da caldeira.

### **Escoadas lávicas**

As escoadas lávicas são produtos vulcânicos que resultam da actividade vulcânica efusiva ou de reduzida explosividade (Cas e Wright, 1987).

Queiroz (1997) refere a existência de escoadas lávicas do tipo *pahoehoe* e *aa* expostas nas paredes da caldeira e nos flancos de vulcão, bem como alguns domos (Fig.1.6), que afloram tanto no interior como no exterior da caldeira.

### 1.2.4. Vulcanoestratigrafia

A vulcanoestratigrafia do Vulcão das Sete Cidades foi estudada por diversos autores, entre os quais se destacam Booth *et al.* (1978), Moore (1990 e 1991) e Queiroz (1990 e 1997).

Segundo Queiroz (1997), distinguem-se dois grupos na vulcanoestratigrafia do maciço das Sete Cidades: (1) o Grupo Inferior; e (2) o Grupo Superior (Fig.1.7).

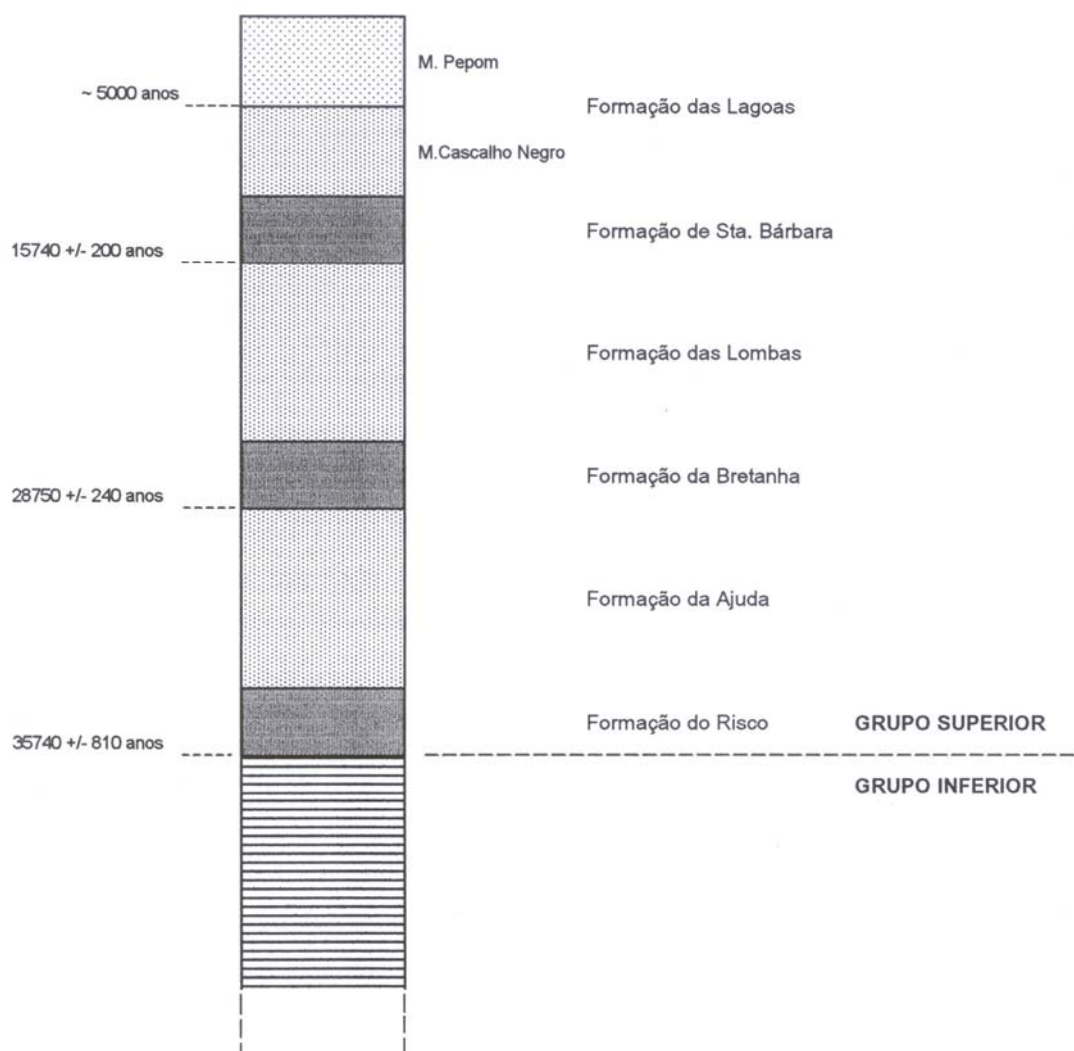


Fig. 1.7 – Escala vulcanoestratigráfica do maciço vulcânico das Sete Cidades (Queiroz, 1997)

#### **1.2.4.1. Grupo Inferior**

Integra todos os depósitos do maciço vulcânico das Sete Cidades com idades superiores a  $35740 \pm 810$  anos B.P. (Queiroz, 1997). As rochas mais antigas conhecidas nesta unidade correspondem a um conjunto de escoadas e domos traquíticos, que afloram na parede NW da caldeira, datadas de há  $210000 \pm 8000$  anos B.P. (Moore, 1991).

Segundo Queiroz (1997), as sequências vulcanoestratigráficas deste grupo apenas são observadas nas íngremes arribas do maciço e nas paredes da caldeira.

Entre os produtos deste grupo contam-se diversos depósitos vulcanoclásticos, sendo possível observar ignimbritos, depósitos de *surges* e níveis pomíticos de queda bastante alterados. Alguns dos depósitos apresentam características hidromagmáticas. Sobre os depósitos vulcanoclásticos encontra-se uma sequência onde predominam escoadas lávicas do tipo *aa* (Queiroz, 1997).

#### **1.2.4.2. Grupo Superior**

O Grupo Superior engloba todos os depósitos com idades inferiores a  $35750 \pm 810$  anos B.P. e foi subdividido em seis formações que testemunham diferentes episódios da edificação do Vulcão das Sete Cidades. Da base para o topo são: a Formação do Risco, a Formação da Ajuda, a Formação da Bretanha, a Formação das Lombas, a Formação de Santa Bárbara e a Formação das Lagoas (Queiroz, 1997).

#### **Formação do Risco**

Os depósitos desta sequência foram datados de há  $35750 \pm 810$  anos B.P. e podem ser observados nas arribas S e SW do vulcão central e no flanco S, mormente, nas

linhas de água. Esta formação está relacionada com o início da formação da caldeira do Vulcão das Sete Cidades. Engloba depósitos do tipo *surge*, ignimbritos e leitos de *lapilli* pomítico de queda. A extrusão deste material terá levado ao esvaziamento da câmara magmática e, conseqüentemente, ao colapso do edifício principal (Queiroz, 1997).

### **Formação da Ajuda**

A Formação da Ajuda, com uma idade compreendida entre os  $35740 \pm 810$  e  $28750 \pm 240$  anos B.P., sobrepõem-se à Formação do Risco. Segundo o modelo trifásico da gênese da caldeira, esta formação é o resultado de episódios eruptivos de natureza, predominantemente, efusiva que ocorreram durante a 1ª fase, nos flancos do vulcão. Nesta formação encontram-se depósitos vulcanoclásticos e escoadas lávicas (Queiroz, 1997).

### **Formação da Bretanha**

Datada de há  $28750 \pm 240$  anos B.P., a Formação da Bretanha resultou de uma violenta erupção que levou ao colapso do flanco NW do vulcão e marcou o início da 2ª fase da gênese da caldeira. Os materiais que a constituem são depósitos de *surges* e de escoadas piroclásticas e depósitos de queda (Queiroz, 1997).

### **Formação das Lombas**

Esta formação, com uma idade compreendida entre os  $28750 \pm 240$  e os  $15710 \pm 200$  anos B.P., marca o período mais calmo da 2ª fase da evolução da caldeira. Durante este período, ocorreram alguns fenómenos eruptivos intracaldeira e outros nos flancos do vulcão, que deram origem a depósitos de *lapilli* pomítico de queda, a depósitos de

piroclastos basálticos, escoadas piroclásticas, escoadas basálticas do tipo *aa* e tufos basálticos (Queiroz, 1997).

### **Formação de Santa Bárbara**

A última fase de formação da caldeira das Sete Cidades deu origem aos depósitos que estão incluídos na Formação de Santa Bárbara. O material extruído durante esta fase levou ao colapso dos sectores N e NE do vulcão, e conseqüentemente, dos centros emissores aí localizados. Esta formação compreende depósitos com idades aproximadas de  $15710 \pm 200$  anos B.P., sendo um bom nível de referência, visto evidenciar uma boa dispersão e apresentar uma pedra-pomes característica (de cor branca-amarelada, rica em inclusões de material vesicular de cor negra) presente em todos os membros. É constituída, da base para o topo, por depósitos de *surges*, ignimbritos e depósitos de queda (Queiroz, 1997).

### **Formação das Lagoas**

A actividade vulcânica recente do Vulcão das Sete Cidades, com idade inferior a 16000 anos B.P., está incluída na Formação das Lagoas. Esta formação divide-se em dois membros: (1) o Membro do Cascalho Negro ( $15740 \pm 200$  a 5000 anos B.P.); e (2) o Membro da Pepom (inferior a 5000 B.P.) (Queiroz, 1997).

O membro mais antigo desta formação, o Membro do Cascalho Negro, integra domos, escoadas lávicas basálticas (*s.l.*) e traquíticas (*s.l.*), depósitos de piroclastos basálticos (*s.l.*) e depósitos pomíticos de *lapilli* e cinzas (Queiroz, 1997).

Durante o período correspondente ao Membro da Pepom, a actividade eruptiva foi caracterizada pela ocorrência de eventos vulcânicos basálticos, de maior ou menor explosividade, nos flancos e eventos com maior explosividade no interior da caldeira (Queiroz, 1997).

No que concerne ao vulcanismo nos flancos do vulcão central, Queiroz (1997) referiu uma série de eventos de carácter basáltico (de maior ou menor explosividade) que deram origem a novos cones e a diversos depósitos piroclásticos e escoadas lávicas. As erupções de natureza basáltica mais antigas do Membro da Pepom tiveram origem nos picos de Mafra e dos Ginetes. Seguiu-se a erupção que deu origem ao cone de escórias localizado a E da Ponta da Ferraria (Queiroz, 1997). As últimas erupções ocorreram nos picos do Carvão, das Ferrarias e das Camarinhas, que foram datadas por Moore e Rubin (1991) de há  $1280 \pm 150$  anos B.P.,  $980 \pm 90$  anos B.P. e  $840 \pm 60$  anos B.P., respectivamente.

Com origem em erupções intracaldeira, Queiroz (1997) identificou dezassete depósitos, contrariando os estudos efectuados por Booth *et al.* (1978), que só reconheciam doze depósitos, para o mesmo período de tempo. Estes depósitos apresentam: (1) carácter hidromagmático relativamente constante (depósitos Sete-P2, Sete-P4, Sete-P9, Sete-P13, Sete-P16 e Sete-P17); (2) carácter inicial predominantemente magmático seguido de uma fase com carácter misto, magmático e hidromagmático (depósitos Sete-P3, Sete-P5, Sete-P6, Sete-P7, Sete-P10, Sete-P11, Sete-P14 e Sete-P15); e (3) fases hidromagmáticas e magmáticas, alternadas de um modo mais ou menos contínuo (depósitos Sete-P1, Sete-P8 e Sete-P12) (Queiroz, 1997).

## 2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO DEPÓSITO SETE-P11

### 2.1. TRABALHOS ANTERIORES

O Vulcão das Sete Cidades foi alvo de estudo por parte de diversos autores (e.g. Booth *et al.*, 1978; Moore, 1991; Queiroz, 1991 e 1997), mas é o trabalho realizado por Queiroz (1997) que identifica, nomeia e descreve o depósito Sete-P11.

Segundo Queiroz (1997), a erupção que deu origem ao depósito Sete-P11 ocorreu acerca de  $2220 \pm 70$  anos B.P., tendo sido, possivelmente, um dos maiores eventos vulcânicos registados no maciço vulcânico das Sete Cidades nos últimos 5000 anos. A erupção terá ocorrido depois de um período de repouso do vulcanismo intracaldeira e os seus produtos terão sido direccionados para SE. Segundo a mesma autora, a fonte emissora é desconhecida, embora, como sugerem as isopacas (Fig. 2.1), localizadas no interior da caldeira.

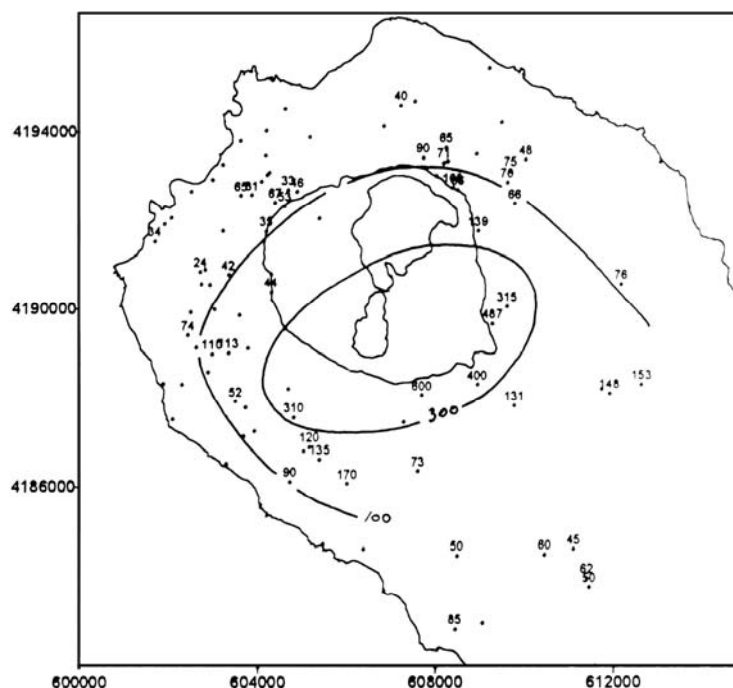


Fig. 2.1- Isopacas do depósito Sete-P11 (Queiroz, 1997).

Queiroz (1997) constatou que o depósito é constituído, essencialmente, por *lapilli* pomítico fino a médio rico em cristais de feldspato e biotite. Também encontrou líticos, cristais de feldspatos soltos e obsidiana. Verificou que a base do depósito é constituída por um nível, muito solto, de *lapilli* pomítico fino a médio com cristais individualizados, apresentando uma ligeira gradação inversa. Na parte superior do depósito observou uma alternância entre níveis de cinzas pomíticas e de *lapilli* pomítico. A N e NE do vulcão, detectou depósitos do tipo *surge*. O topo exhibe um solo pouco desenvolvido e é truncado por uma notória superfície de erosão.

Segundo Queiroz (1997), a erupção que deu origem ao depósito Sete-P11 apresentou características mistas, sendo possível distinguir, no depósito, uma primeira fase puramente magmática seguida de um período misto onde ocorreu alternância de fases hidromagmáticas e magmáticas.

## 2.2. VULCANOESTRATIGRAFIA

### 2.2.1. Metodologia

Tendo em vista o estudo da estratigrafia do depósito Sete-P11 foi levada a cabo uma campanha de campo com o objectivo de estudar as características físicas do mesmo. Neste sentido, fez-se um estudo prévio da área em análise seleccionando-se (1) os critérios para a identificação do depósito e (2) as informações a recolher em cada local.

O levantamento dos locais de estudo foi feito através da observação de fotografia aérea à escala 1/8000, do voo 35/95 da Força Aérea Portuguesa. Os dados de campo foram implantados nas bases cartográficas, à escala de 1/25000, mais concretamente nas folhas 26, 27, 28, 31 e 32 da Carta Militar de Portugal de 2001 (datum: marca de nivelamento de vila do Porto, ilha de Santa Maria), relativas à ilha de São Miguel. Posteriormente estes elementos foram inseridos numa base de dados e processados por computador em *software* ArcView® 3.1 da ESRI.

Com o intuito de determinar os critérios de identificação do depósito Sete-P11, foi realizado um reconhecimento de campo tendo como ponto de partida o trabalho de Queiroz (1997). Constatou-se que o depósito apresenta variações de *facies* e, em alguns quadrantes, o seu aspecto é semelhante a outros depósitos do maciço. Deste modo, para proceder à sua correcta identificação foi necessário estabelecer bons níveis de referência.

#### **Depósitos de referência utilizados no levantamento de campo**

Dos depósitos imediatamente subjacentes, Sete-P10, Sete-P9 e Sete-P8, confirmou-se que o primeiro tinha uma dispersão muito restrita (vertentes NE e SSW do maciço das Sete Cidades), sendo constituído, nas *facies* distais, por cinzas muito alteradas o que limitou o seu interesse como nível de referência. No que diz respeito aos restantes

depósitos (Foto 2.1) verificou-se que: (1) o depósito Sete-P8 é um depósito muito estratificado constituído por níveis de cinzas pomíticas arroxeadas, que em alguns locais são ricas em *lapilli* de acreção, e níveis de *lapilli* pomítico rico em líticos, principalmente no topo; e (2) o depósito Sete-P9 é constituído essencialmente por cinzas pomíticas hidromagmáticas finas, de cor acinzentada, onde é possível distinguir faixas irregulares de cinzas acastanhadas. Devido às características descritas e ao facto de se encontrarem em todas as vertentes do Vulcão das Sete Cidades estes depósitos foram considerados importantes níveis de referências. Verificou-se, ainda, que o depósito Sete-P8 se estende ao extremo ocidental da Região dos Picos, tornando-o um dos melhores depósitos de referência da área de estudo.



Foto 2.1 – Sequência eruptiva subjacente ao depósito Sete-P11 (em PL27, ver Fig. 2.2).

Nota: O depósito Sete-P10 não está presente nesta vertente.

É de salientar que nas vertentes W e NNW, entre a Candelária e os Mosteiros (Anexo I), existe um depósito (Foto 2.2) constituído por *lapilli* pomítico predominantemente fino com

uma faixa de *lapilli* pomítico médio, aproximadamente a meio do depósito, pobre em líticos, com uma base de cinzas finas arroxeadas e um solo escuro bem desenvolvido no topo, que foi utilizado como referência. Este depósito tinha sido anteriormente integrado no depósito Sete-P11 por Queiroz (1997), visto que, estratigraficamente, ocupa a posição deste nas vertentes onde está presente. Nos poucos locais onde foi possível encontrar ambos os depósitos, verificou-se que este novo depósito está imediatamente antes Sete-P11 e assenta, geralmente, no depósito Sete-P9. Visto o depósito Sete-P10 não estar presente neste quadrante do vulcão não é possível estabelecer a posição estratigráfica correcta deste novo depósito. Sendo assim e atendendo à nomenclatura usada por Queiroz (1997) para classificar os depósitos resultantes das erupções do Vulcão das Sete Cidades nos últimos 5000 anos, optou-se por denominá-lo de Sete-Pb11, isto é, depósito do Vulcão das Sete Cidades, pertencente ao membro da Pepom e que está estratigraficamente abaixo do depósito 11.



Foto. 2.2 - Aspecto do depósito Sete-Pb11 (AL6).

Os depósitos Sete-P12 e Sete-P13, estratigraficamente acima do depósito Sete-P11, apresentam algum interesse como níveis de referência devido às suas características distintas, principalmente nas *facies* distais, no entanto a sua dispersão é circunscrita a algumas vertentes do vulcão. O Sete-P12 é constituído por faixas de cinzas pomíticas grosseiras de tom salmão com material pomítico disseminado (blocos e *lapilli*), apresentando no topo um solo, localmente muito erodido. O Sete-P13 é um depósito de cinzas pomíticas hidromagmáticas brancas proveniente do Cone do Alferes (Queiroz, 1997), que na *facies* distal pode apresentar tonalidades que vão desde o branco ao castanho-amarelado, devido à alteração, encontrando-se truncado por uma superfície de erosão.

Utilizaram-se, ainda, como níveis de referência, os depósitos Sete-P14 e Sete-P15 que, apesar de em alguns locais serem de difícil separação (Foto 2.3), apresentam uma grande dispersão, sendo possível encontrá-los em todas as vertentes do vulcão bem como em alguns locais da Região dos Picos. O depósito Sete-P14 é um depósito estratificado, constituído por leitos de *lapilli* pomítico bem calibrado, grosseiro na base e mais fino no topo, com leitos de cinzas hidromagmáticas e rico em líticos. Por outro lado, o depósito Sete-P15, que também é estratificado, é constituído por leitos de cinzas pomíticas, por vezes compactadas e com *lapilli* de acreção, e leitos de *lapilli* pomítico médio a fino, mal calibrado (principalmente na vertente SW).

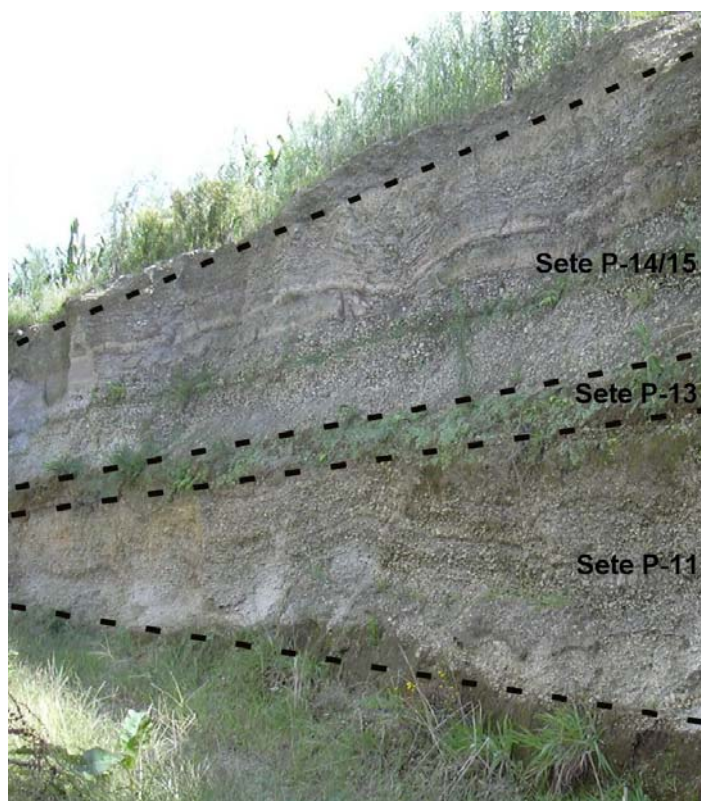


Foto. 2.3 - Sequência eruptiva superior ao depósito Sete-P11 (em PL2, ver Fig. 2.2).

### Dados recolhidos no levantamento de campo

No levantamento de campo, em cada um dos locais estudados, foram recolhidos dados relativos à espessura, ao diâmetro máximo das três maiores pedras pomes e dos três maiores líticos (como proposto por Walker, 1973), às características da pedra-pomes, ao tipo e quantidade de líticos, à presença de cristais soltos na matriz do depósito e às características das cinzas. Sempre que possível foram individualizados os vários leitos do depósito procedendo-se a uma descrição detalhada de cada um deles.

Para classificar os fragmentos piroclásticos utilizou-se o esquema de classificação (Tab. 2.1) proposto por Fisher (1961) e Schimd (1981).

Tabela 2.1 – Esquema de classificação dos clastos (Fisher, 1961; Schimd, 1981)

Diâmetro (mm)	Piroclastos
> 64	Bomba
	<i>Bloco</i>
64 – 2	<i>Lapilli</i>
2 – 0,063	Cinza grosseira
< 0,063	Cinza fina

### 2.2.2. Estratigrafia fina

A estratigrafia fina, do depósito Sete-P11 foi definida tendo por base as correlações de 66 cortes geológicos (Fig. 2.2; Anexo II).

O levantamento de campo abrangeu todo o maciço vulcânico das Sete Cidades e parte da Região dos Picos, tendo-se verificado que o depósito Sete-P11 se estende desde a vertente SW do vulcão (Candelária), passando pelos flancos S e SE até à vertente E (Santa Barbara). Na Região dos Picos verificou-se que o depósito apenas se encontra na sua parte ocidental, mais concretamente, no eixo Relva – Serra Gorda – Santo António. Na zona das Capelas não foi possível observa-lo devido há inexistência de afloramentos.

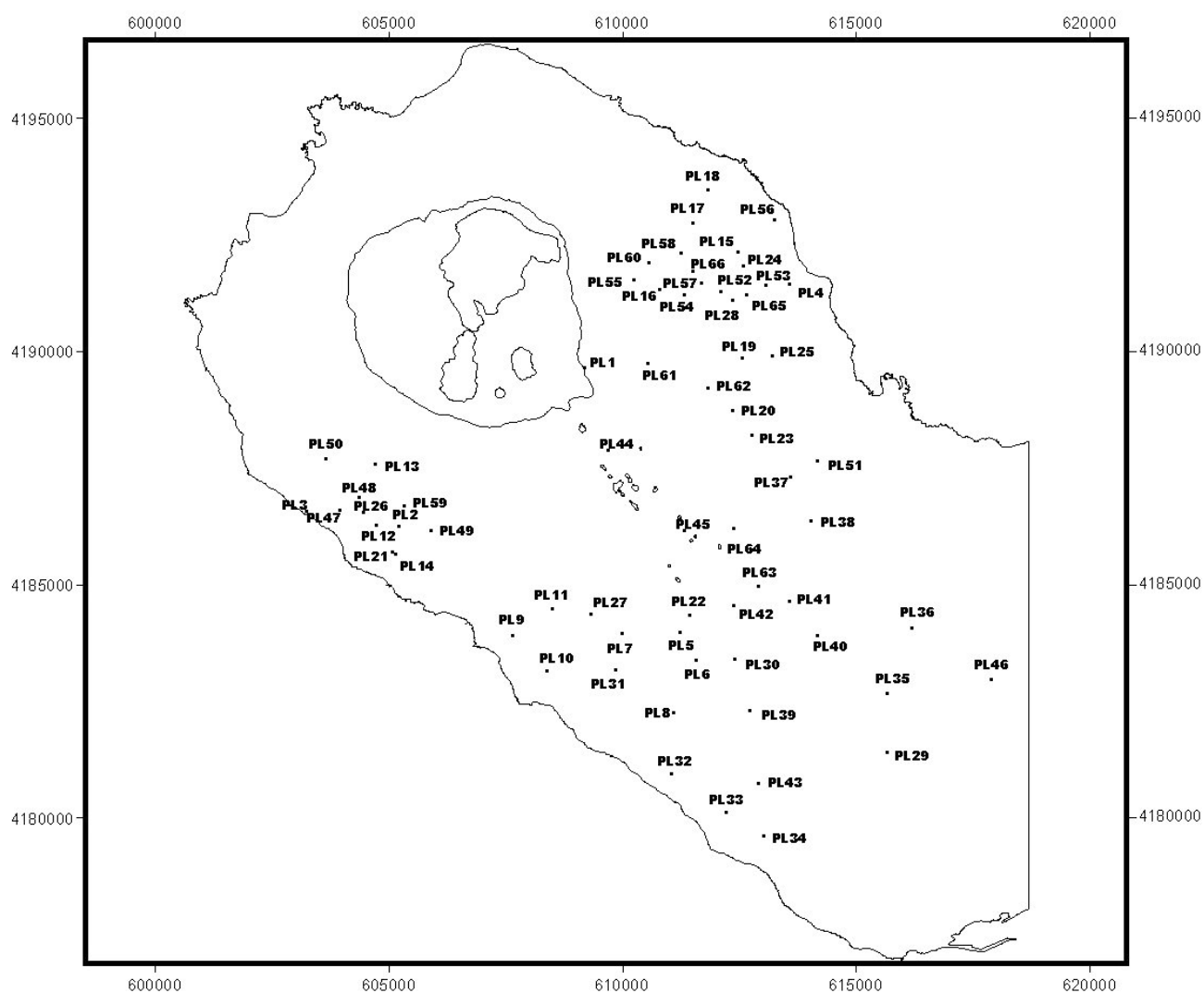


Fig. 2.2 - Localização dos cortes geológico do depósito Sete-P11.

Em termos genéricos, no depósito Sete-P11 distinguem-se, da base para o topo, uma zona constituída por *lapilli* pomítico, predominantemente, médio com alguns líticos médios a finos, à qual se sobrepõem uma série de leitos de cinzas pomíticas intercalados por leitos de *lapilli* pomítico médio a fino, ricos em líticos basálticos (*s.l.*) médios, com ou sem matriz de cinzas. O topo do depósito exhibe um solo pouco desenvolvido e é truncado, em alguns locais, por uma superfície de erosão. Em alguns cortes (por ex. PL1 e PL2) podem-se observar figuras de carga (Foto. 2.4), preenchidas por material mais fino.



Foto. 2.4 - Figura de carga (PL1, ver Fig. 2.2).

Atendendo às características do depósito foram definidas duas unidades estratigráficas que apresentam características próprias e representam diferentes períodos da erupção. Designou-se por Unidade 1 (U1), o nível de base, constituído essencialmente por *lapilli* pomítico solto e por Unidade 2 (U2) a unidade que engloba os restantes leitos.

Embora a U1 seja facilmente identificável em praticamente toda a área de estudo, os diversos leitos da U2 são difíceis de individualizar, sendo quase impossível fazê-lo em algumas áreas da zona de estudo. No entanto, o corte PL1 (Fig. 2.3), efectuado no Pico da Cruz, apresenta uma parte significativa da sequência eruptiva do depósito Sete-P11, tendo sido usado como referência, de modo a estender as correlações estratigráficas a toda a área de estudo.

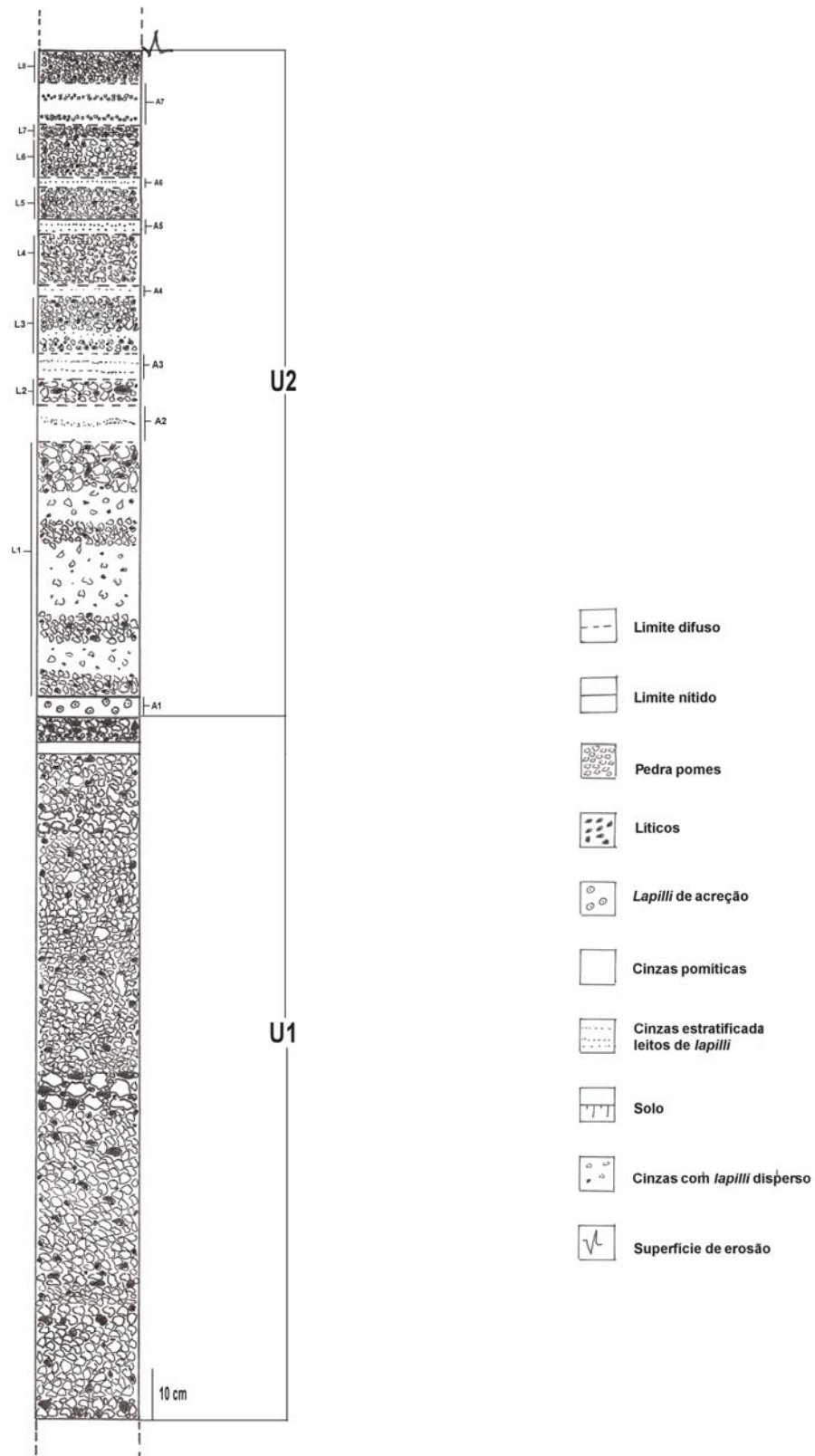


Fig. 2.3 - Corte geológico ilustrativo da sequência eruptiva do depósito Sete-P11, no Pico da Cruz (PL1).

Constata-se que somente em PL1 é que se observa uma parte significativa da sequência eruptiva. Atendendo aos condicionalismos do depósito e de modo a obter um maior número de correlações estratigráficas possíveis, optou-se por fazer as correlações estratigráficas por sectores. Assim, nas Figs. 2.4a a 2.4g estão representadas as correlações nos vários sectores da área de estudo. O critério estipulado para esta divisão está relacionado com as semelhanças estratigráficas entre os diferentes locais onde foram efectuados os cortes.

As Figs. 2.4a e 2.4b mostram a sequência eruptiva do depósito no quadrante SW, e a relação existente entre os diferentes locais deste sector. Verifica-se que existe um predomínio da Unidade 1 em detrimento da Unidade 2.

A sequência seguinte de cortes estratigráficos (Figs. 2.4c e 2.4d) mostram como varia o depósito com o aumento da distância à fonte, para S e SE. Verifica-se que se mantém o predomínio da U1, no entanto com uma espessura menor do que observada no quadrante SW.

A Fig. 2.4e permite observar as relações estratigráficas dos cortes mais a SE, desde a *facies* distal (PL40) até à *facies* proximal (PL61). A Unidade 1 mantém-se como a parte do depósito mais significativa.

Na vertente E, constata-se o predomínio da U2 (Figs. 2.4f e 2.4g) em detrimento da U1, verificando-se que em alguns locais (Fig. 2.4g) a primeira unidade está mesmo ausente. Os leitos aqui identificados não são correlacionáveis com os estipulados no corte de referência.

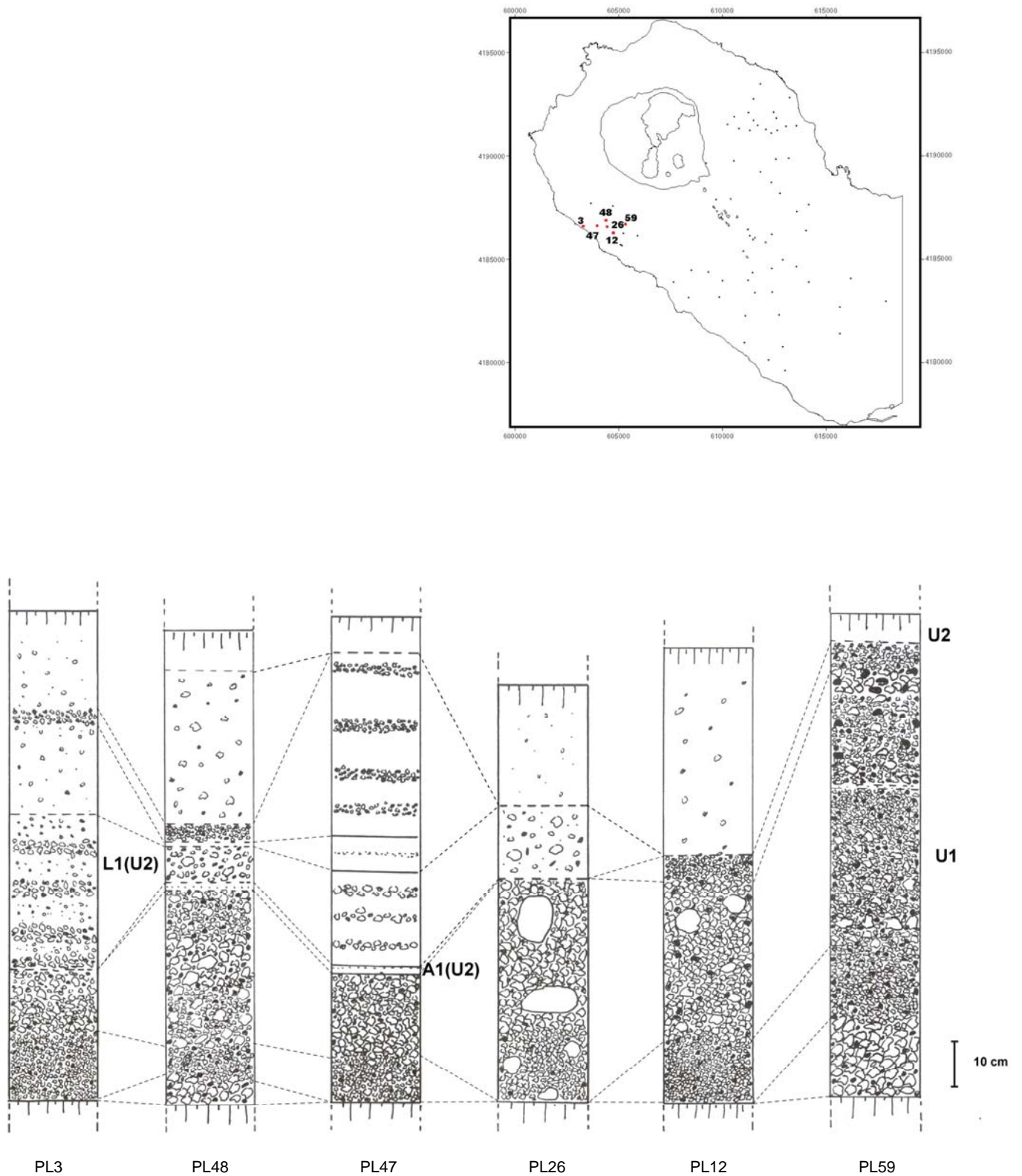


Figura 2.4a – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-11.

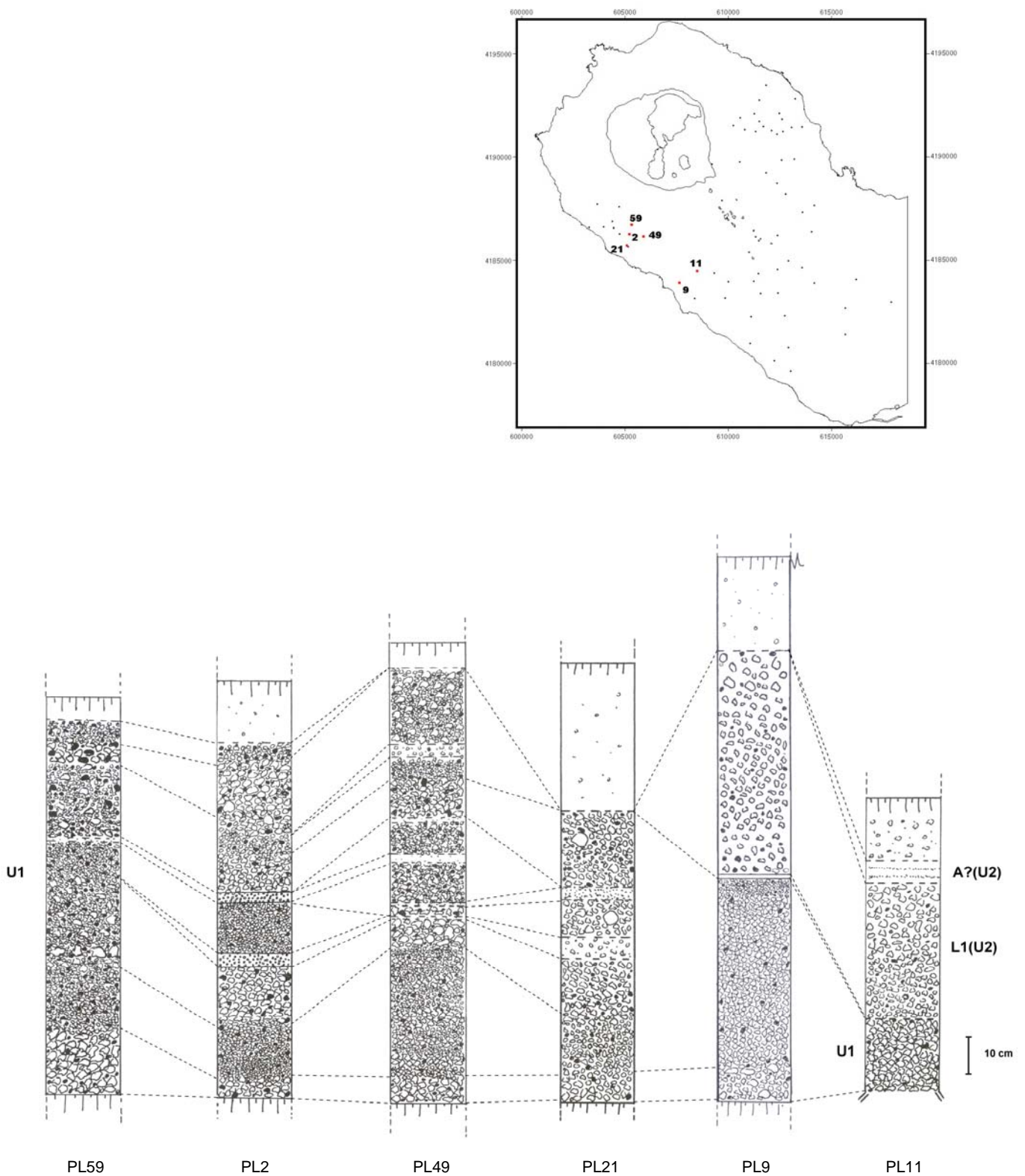


Figura 2.4b – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

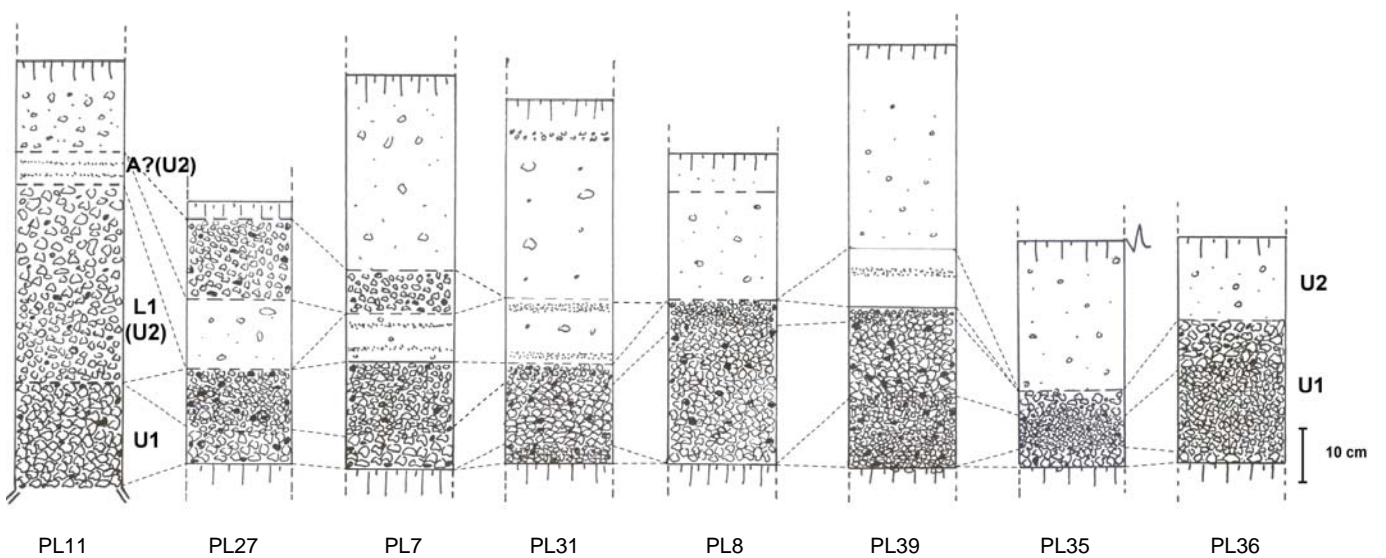
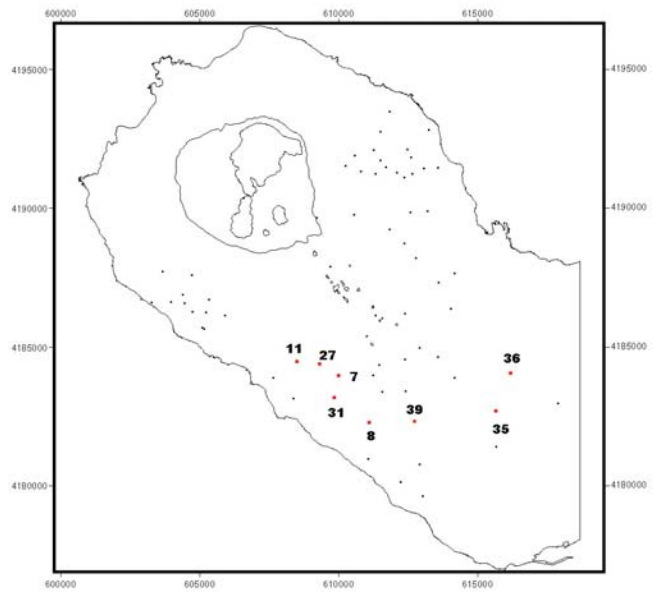


Figura 2.4c – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

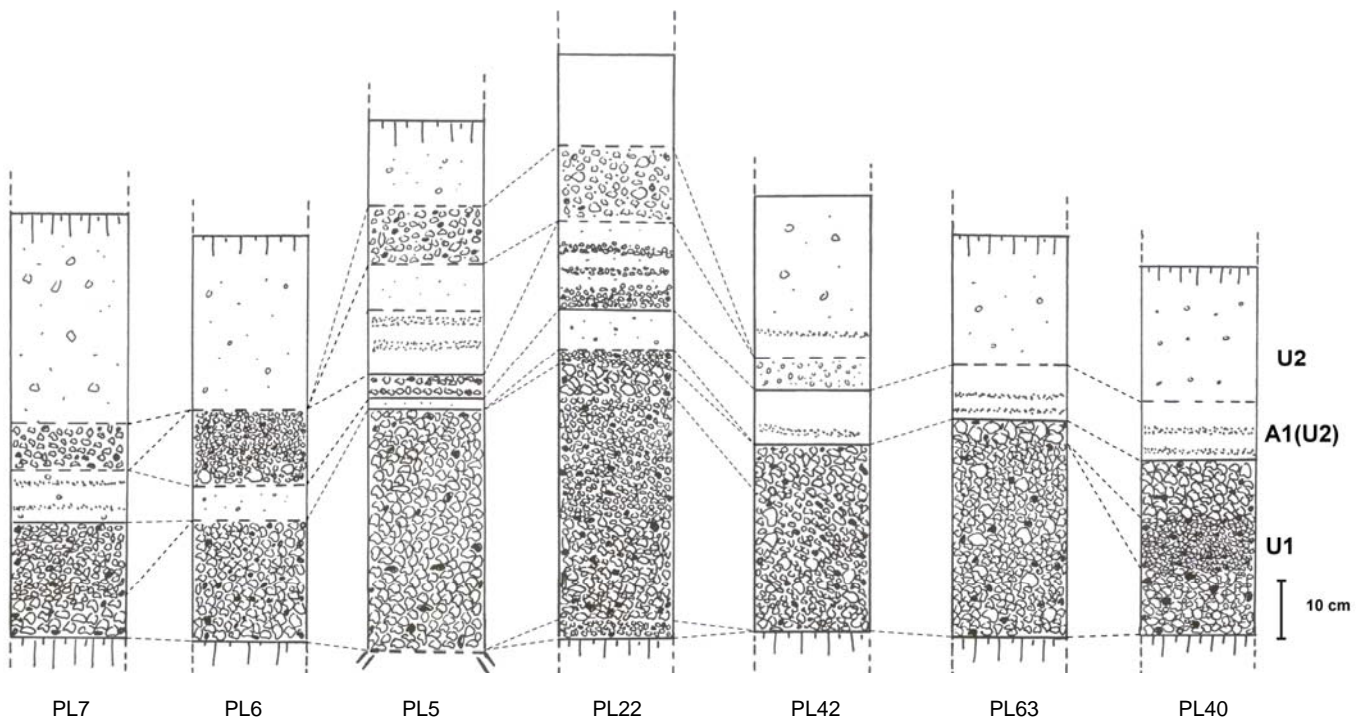
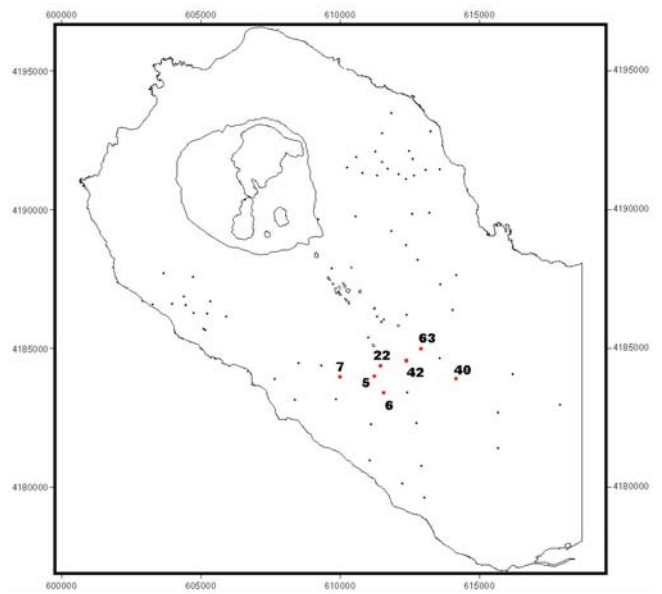


Figura 2.4d – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

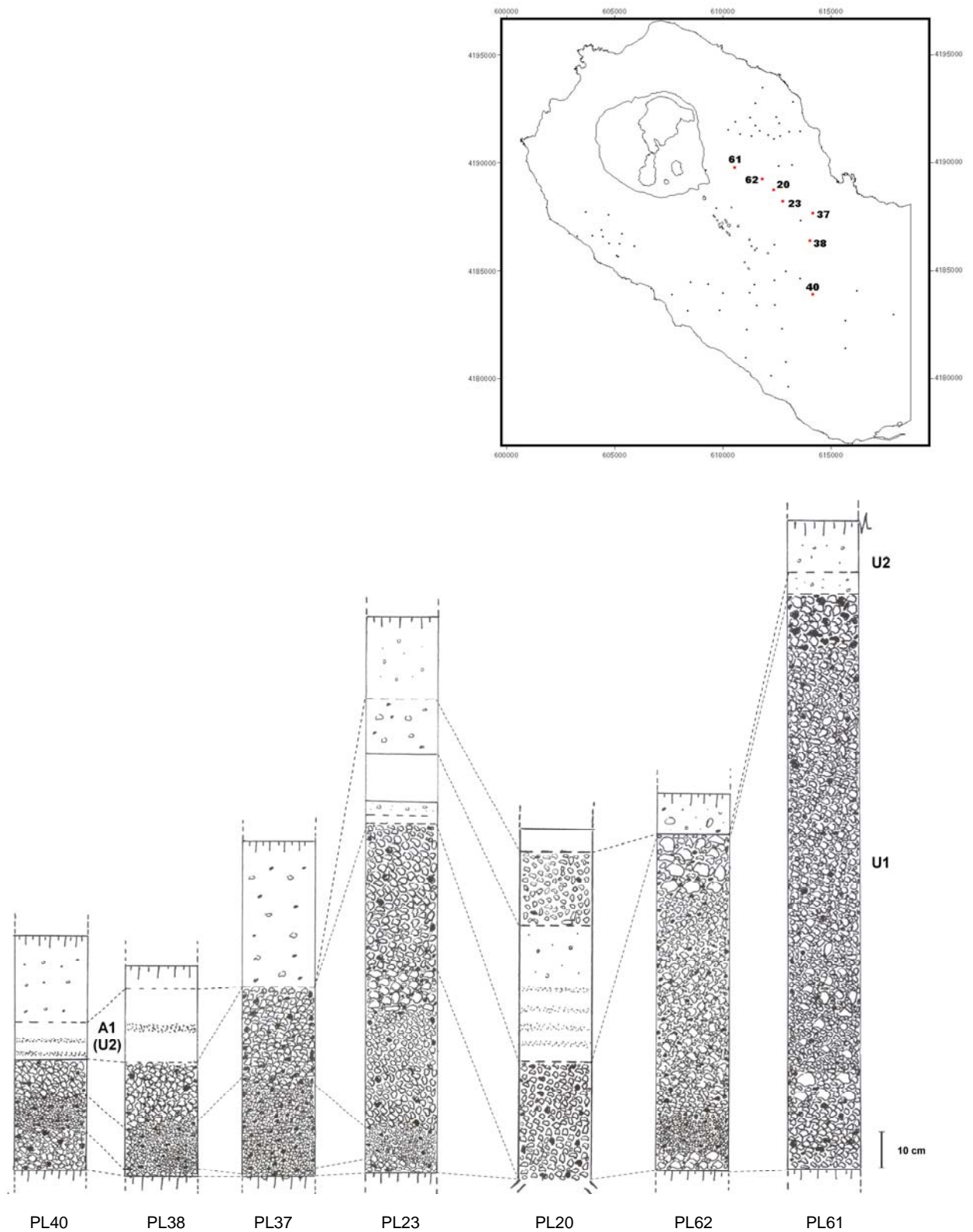


Figura 2.4e – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

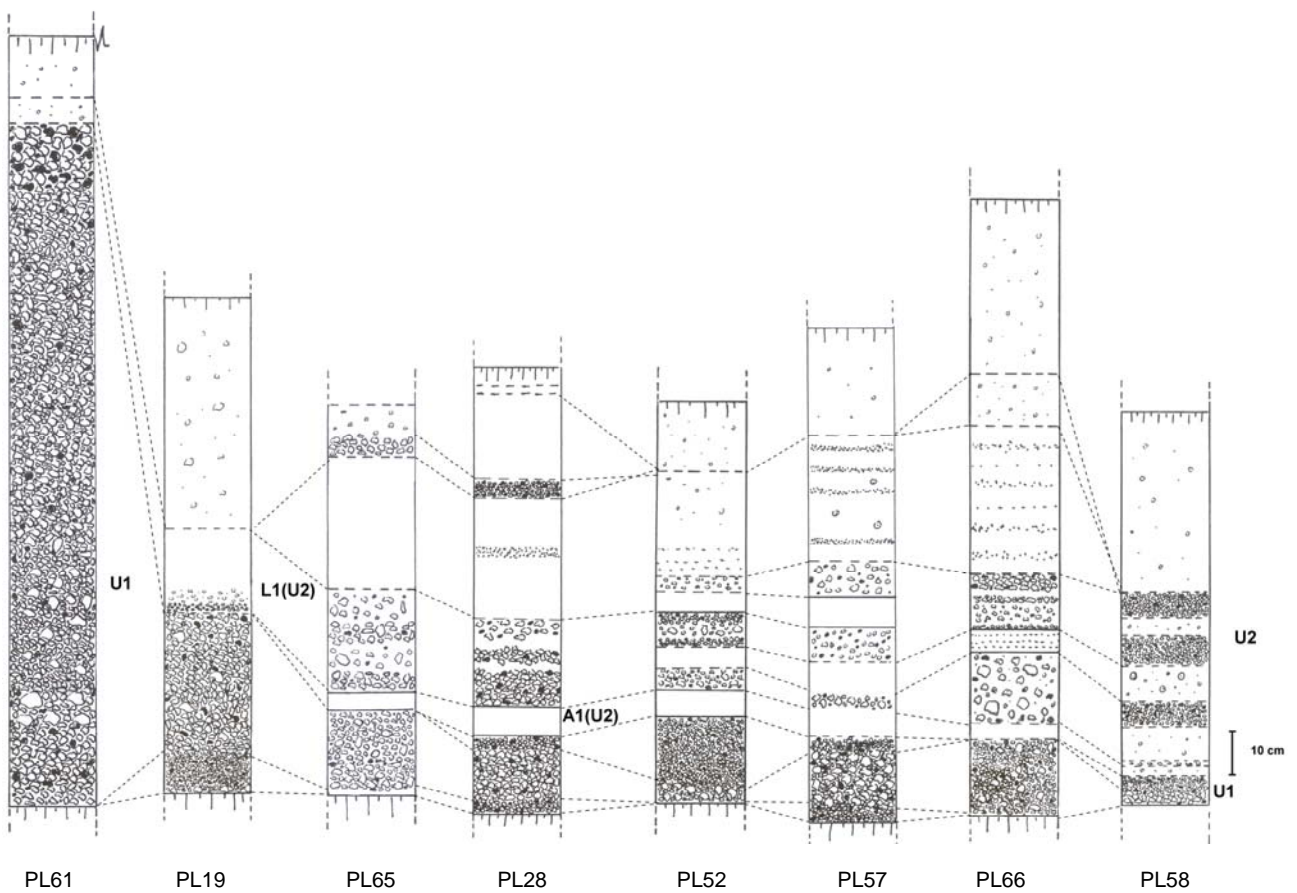
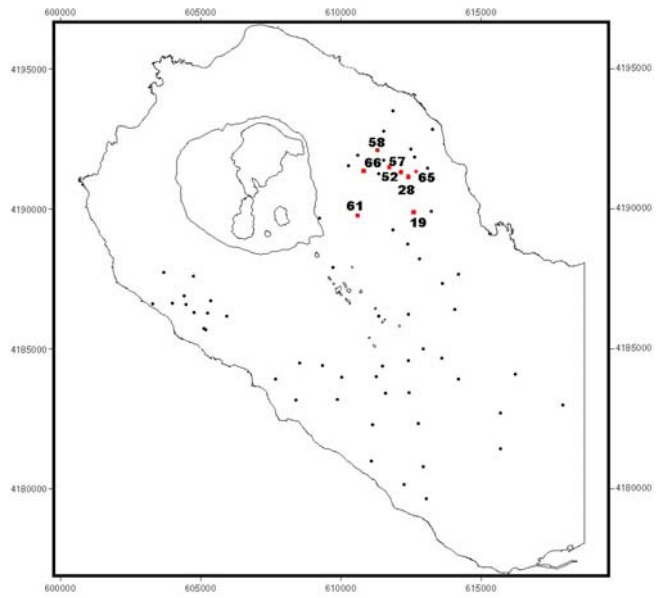


Figura 2.4f – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

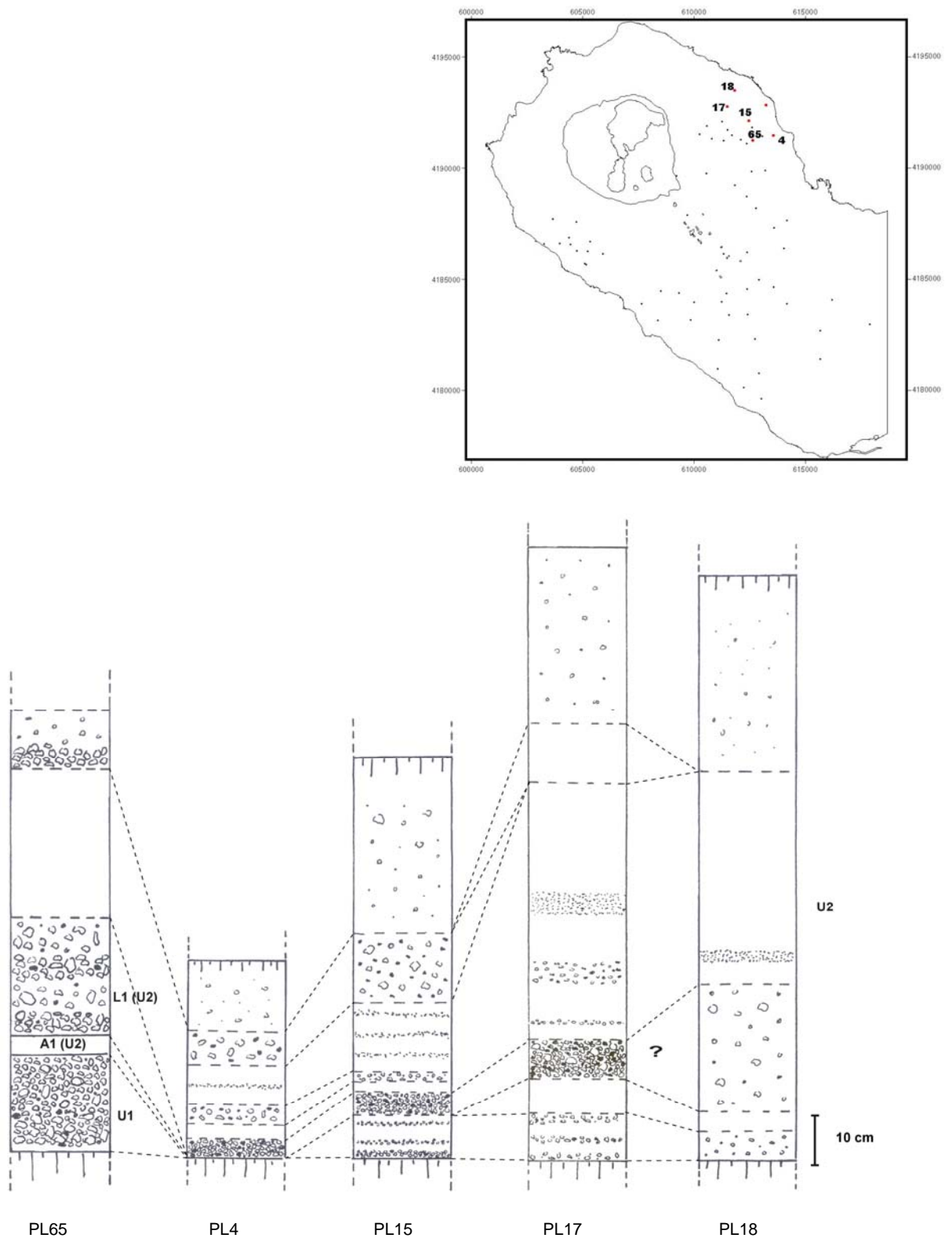


Figura 2.4g – Cortes ilustrativos das correlações estratigráficas do depósito Sete-P11 (cont.).

### 2.2.2.1. Unidade 1 – U1

É possível identificar a U1 (Fig. 2.4, Foto 2.5) em grande parte do maciço das Sete Cidades, bem como na zona ocidental da Região dos Picos. Contudo, verifica-se que nas zonas mais distais da vertente E raramente está presente (Fig. 2.4g). Apresenta espessuras que variam entre os 270 cm (Foto. 2.5), no Pico da Cruz (PL1, Fig. 2.3), e os 13 cm, na Região dos Picos, mais concretamente na Serra Gorda (PL35, Fig. 2.4c). Esta unidade é sempre a base do depósito e cobre a topografia, assentando, quase sempre, num solo, o que leva a admitir que se trata do nível que corresponde à fase inicial da erupção.



Foto. 2.5 - U1 no Pico da Cruz (PL1).

A Unidade 1 é constituída essencialmente por *lapilli* pomítico médio muito solto, mais ou menos bem calibrado, com alguns líticos médios a finos, predominantemente de

natureza basáltica (*s.l.*), e alguns clastos escurecidos, obsidiana e cristais de feldspatos soltos, apresentando estes últimos um diâmetro máximo de 2 mm. A análise macroscópica da pedra-pomes (Foto. 2.6) revela que esta é clara, angular, com fracturas de arrefecimento, pouco vesiculada, com alguns cristais de feldspato e poucos máficos. Em alguns locais, coexiste pedra-pomes angular e pedra-pomes arredondada (predominantemente na fracção fina).



Foto. 2.6 – Pedra-pomes característica da U1.

Atendendo à sua granulometria, a Unidade 1 foi dividida em três zonas (Fig. 2.3). A primeira, a zona inferior, é constituída por *lapilli* pomítico predominantemente fino com muitos líticos, essencialmente basálticos (*s.l.*). É uma zona ligeiramente estratificada, principalmente na metade inferior, onde é possível distinguir três leitos de *lapilli* pomítico médio com líticos médios, que apresentam uma espessura máxima de 9 cm. Um destes leitos é a base da unidade. Em toda a zona inferior existem alguns blocos de pedra-pomes e de líticos basálticos (*s.l.*) disseminados.

A zona intermédia é constituída por *lapilli* grosseiro com alguns blocos de pedra-pomes e líticos (Foto. 2.7a e 2.7b, respectivamente), com um diâmetro máximo de 32,5 cm e 17 cm, respectivamente (em PL1). Esta zona é riquíssima em líticos basálticos (*s.l.*), de

tamanho *lapilli* médio a grosseiro. É de destacar que neste leito foram encontrados aglomerados, com diâmetro inferior a 32 mm, constituídos por pedra-pomes arredondada, pouco vesiculada e sem cristais, e por líticos de natureza basáltica (*s.l.*), aglutinadas por cinzas pomíticas claras finas a grosseiras.

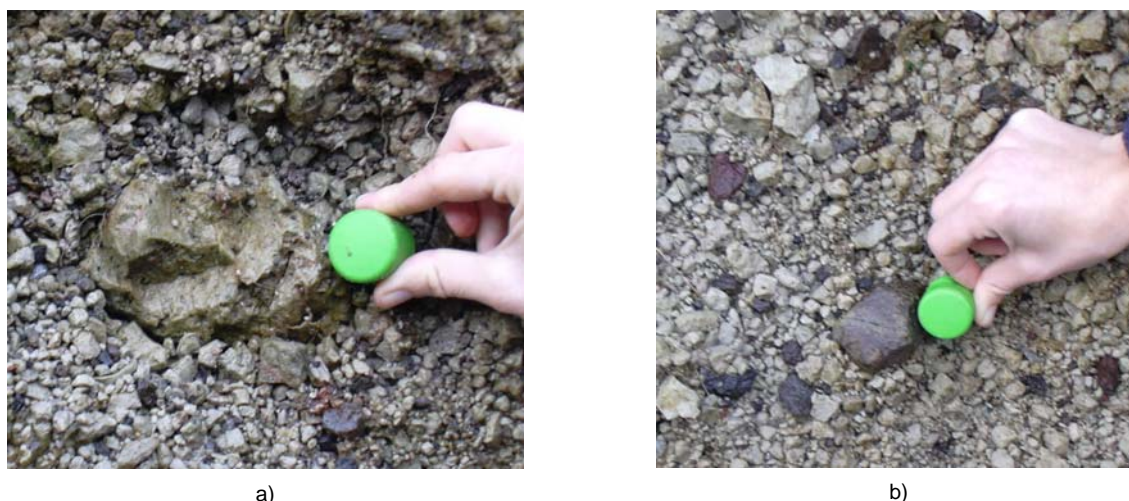


Foto. 2.7- Pedra-pomes (a) e líticos (b) da zona intermédia da U1 (PL1).

A terceira e última zona, zona superior, é constituída por *lapilli* pomítico médio, com menos líticos que as zonas anteriores, não se observando estratificação. Nesta zona os clastos de pedra-pomes atingem um diâmetro máximo de 16 cm. O topo apresenta, em alguns locais, um ténue leito de cinza pomítica finas (aproximadamente 1 cm) seguida de um leito de *lapilli* pomítico médio riquíssimo em líticos basálticos (*s.l.*) médios. Neste leito, também se observam aglomerados cimentados de pedra-pomes muito fina e cinzas pomíticas finas. Em alguns locais (por ex. PL1 e PL2), o topo apresenta figuras de carga preenchidas por material mais fino (Foto. 2.4).

Os leitos que constituem a Unidade 1 apresentam, em alguns locais, variação lateral de espessura, que chega a atingir os 21 cm (PL8, Fig. 2.4c). É de salientar que variação lateral observada na U1 ocorre entre locais que distam, por vezes, em apenas 50 cm.

A escassez de taludes na *facies* proximal não permitiu tirar grandes ilações sobre a variação horizontal da U1. No entanto, verifica-se, que a sequência estratigráfica do

corte de referência não aparece, na totalidade, nos poucos cortes encontrados nesta *facies*. Em PL61 (Fig. 2.4e) observa-se que U1 é bem calibrada, sendo constituída por *lapilli* pomítico fino a médio com alguns líticos basálticos (*s.l.*), não se observa estratificação, o que impossibilitou a individualização das zonas que constituem a U1. No entanto, o topo é constituído por um leito de *lapilli* pomítico médio riquíssimo em líticos médios, semelhante ao observado no corte de referência. Nos cortes a S e a SW de PL1, a Unidade 1 é mal calibrada, sendo a sua base constituída por *lapilli* pomítico fino (que no caso de PL44 é praticamente metade da U1) a que se segue uma zona de *lapilli* pomítico médio com alguns blocos disseminados (em PL13). É de destacar que para o topo da unidade aparecem alguns leitos de cinzas pomíticas finas.

Nas *facies* médias e distais constatou-se que a unidade apresenta diferentes aspectos, que são independentes do quadrante em que se encontram. Em alguns locais predomina o *lapilli* fino solto enquanto que noutros o *lapilli* médio solto, existindo, ainda, sítios onde se observa várias classes granulométricas, desde cinzas até *lapilli* grosseiro.

Em muitos locais verifica-se que a pedra-pomes de base, geralmente *lapilli* médio a fino, está incrustada no solo do depósito anterior (Foto 2.8) e encontrando-se bastante alterada.



Foto 2.8 – Base do depósito Sete-P11 em PL8 (ver Fig.2.2).

No que concerne à base da unidade verifica-se que é muito variada, sendo em alguns locais constituída por *lapilli* pomítico fino solto com líticos basálticos (*s.l.*) finos (e.g. PL3, Fig. 2.4a) e noutros por *lapilli* pomítico médio solto líticos basálticos (*s.l.*) (e.g. PL4, Fig. 2.4g). Quando a base é mais grosseira, o leito que lhe está imediatamente acima é constituído por *lapilli* pomítico fino, podendo corresponder ao *lapilli* pomítico fino que noutros locais é a base do depósito. Verifica-se, ainda, que, em algumas locais (e.g. PL7 e PL61, ver Figs. 2.4c e 2.4e, respectivamente), os clastos de base estão envolvidos por cinzas pomíticas grosseiras, não apresentando um aspecto solto. Este tipo de leito não ultrapassa os 7 cm de espessura.

No que diz respeito ao topo da unidade observa-se que é muito variado, podendo ser constituído por: (1) *lapilli* pomítico médio e líticos basálticos (*s.l.*) finos numa matriz de cinzas grosseiras (por ex. PL11, PL37, Figs. 2.4c e 2.4e); (2) *lapilli* pomítico fino (por ex. PL7, PL12, Figs. 2.4c e 2.4a) e médio (por ex. PL38, PL40, Fig. 2.4e) solto com líticos basálticos (*s.l.*); e (3) um fino leito de cinzas claras (aproximadamente 1 cm) seguido de um leito de *lapilli* pomítico médio riquíssimo em líticos médios a finos (por ex. PL1, Fig. 2.3).

Na vertente SW, a Unidade 1 parece evidenciar uma estratificação incipiente, observando-se grande variação granulométrica nos diversos leitos. Os leitos, principalmente nos cortes efectuados na freguesia das Feteiras, variam desde *lapilli* pomítico grosseiro (Foto. 2.9a) até finos leitos de *lapilli* pomítico muito fino numa matriz de cinzas grosseiras (Foto. 2.9b), com variação lateral de espessura, que em PL67 e PL68 se bifurcam, dando origem a dois leitos de material mais fino (cinzas grosseiras), estando no meio deles *lapilli* pomítico fino. Além dos finos leitos de *lapilli* pomítico fino também existem finos leitos de cinzas grosseiras que apresentam uma espessura máxima de 2 cm (PL13).

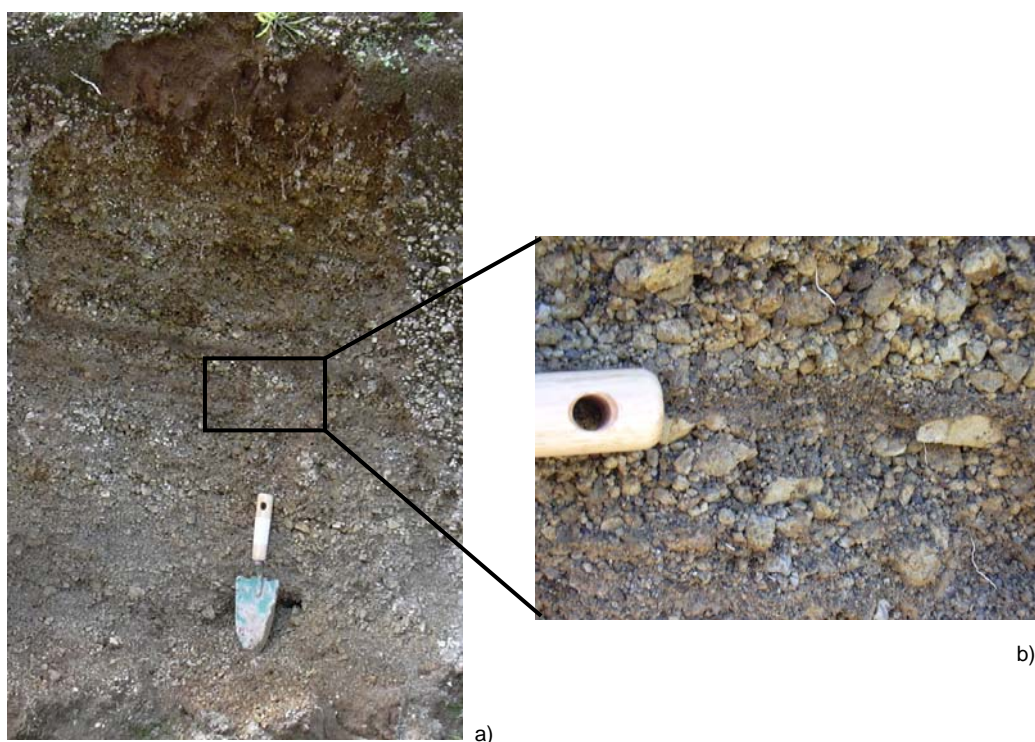


Foto. 2.9 - Unidade 1 estratificada em PL2: a) vista geral; b) pormenor dos leitos finos.

É nesta vertente do vulcão que a U1 tem maior expressão. Os clastos de pedra-pomes (Foto. 2.10) atingem dimensões máximas de blocos, com 15 a 17,5 cm (PL13 e PL2, respectivamente), principalmente na metade inferior, enquanto que os líticos apresentam um diâmetro máximo de 3,5 cm (PL67).



Foto. 2.10 - Dimensão da pedra-pomes em PL13 (ver Fig. 2.2).

Na vertente S e SEE do Vulcão das Sete Cidades, bem como no extremo ocidental da Região dos Picos verifica-se que a U1 apresenta, por vezes, estratificação, sendo em alguns locais, normal e noutros inversa. A unidade não apresenta grandes variações granulométricas sendo mais ou menos bem calibrada, predominando o *lapilli* médio, verificando-se que em alguns locais a base ou o topo (Foto. 2.11), ou ambos, são ligeiramente mais grosseiros (dentro do *lapilli* médio) que a parte intermédia da unidade. Em alguns cortes foi possível verificar a presença de *lapilli* pomítico grosseiro (por ex. PL7 e PL63, Fig. 2.4d).

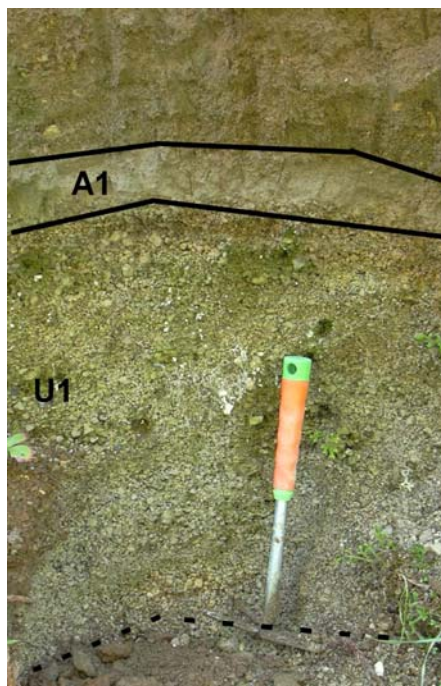


Foto. 2.11 - Aspecto da U1 (PL22, ver Fig. 2.2).

Na vertente SE atesta-se que a U1 possui espessuras semelhantes às encontradas na vertente W, observando-se, novamente, alguma estratificação incipiente (por ex. PL62, Fig. 2.4e). Note-se que o topo de todos os locais identificados é constituído por *lapilli* pomítico médio.

Conforme nos dirigimos para E, observa-se que a U1 (Foto. 2.12) diminuiu drasticamente de espessura, chegando nas regiões mais distais (Estrada Regional entre Santo António e Santa Bárbara, Fig. 2.4g) a desaparecer. Nesta vertente, a Unidade 1, quando existe, assenta sobre um depósito de escórias basálticas (*s.l.*) com alguma cinza basáltica (*s.l.*). Uma característica constante nesta zona é o facto de o topo da unidade ser sempre constituído por *lapilli* pomítico fino, apesar dos leitos apresentarem granulometrias variadas.

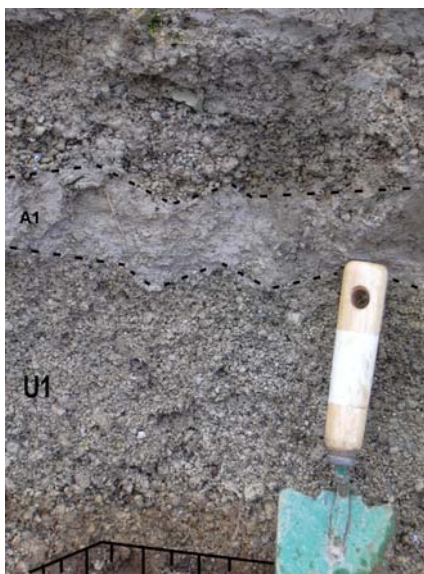


Foto. 2.12 - Aspecto da U1 na vertente E (PL52, ver Fig. 2.2).

#### 2.2.2.2. Unidade 2 – U2

A U2 (Fig. 2.4, Foto 2.13) é uma unidade muito heterogênea, com *facies* bastante distintas nos diversos quadrantes do vulcão central. Esta unidade observa-se, predominantemente, na vertente E do Vulcão das Sete Cidades, sendo também encontrada noutros quadrantes do vulcão bem como na Região dos Picos, mas com menor expressão. Em alguns locais encontra-se remobilizada, não permitindo estabelecer correlações estratigráficas. A sua espessura varia entre os 253 cm, no Pico da Cruz (PL1, Fig. 2.3), e os 12 cm em PL62 (Fig. 2.4e). Caracteriza-se pela alternância de leitos de *lapilli* pomítico médio a fino, rico líticos médios, com ou sem matriz de cinzas grosseiras, e leitos de cinzas pomíticas finas a médias sem graduação vertical, tendo a maior parte dos níveis limites difusos. Tal como em U1, os leitos de *lapilli* da U2, também apresentam cristais de feldspato soltos na matriz com diâmetros inferior a 2 mm. Macroscopicamente, a pedra-pomes não apresenta variações em relação à observada em U1. É de salientar, no entanto, que num dos leitos de *lapilli* a pedra-pomes é rolada e não apresenta fracturas de arrefecimento. O topo desta

unidade apresenta solo que, por vezes, aparece truncado por uma superfície de erosão.

De modo a caracterizar individualmente cada um dos leitos da Unidade 2 optou-se por nomear os leitos de cinzas e os leitos de lapilli com as letra A (*Ash*) e L (*Lapilli*), respectivamente, seguidas de um número que corresponde à sua posição estratigráfica, da base da unidade até ao topo.



Foto. 2.13 - U2 no Pico da Cruz (PL1, ver Fig.2.2).

A base da U2 apresenta um leito de cinzas pomíticas claras, com limite superior e inferior nítidos, designadas por A1 (Foto. 2.14), finas, bem calibradas, compactadas e ricas em *lapilli* de acreção anucleado. Este nível apresenta uma espessura máxima de 8 cm no Pico da Cruz (PL1). No entanto este leito só aparece em alguns quadrantes do

vulcão, mais concretamente, às vertentes NE, S e SE. A sua espessura mantém-se aproximadamente constante (6 a 7 cm) em todos os locais onde foi observada.



Foto. 2.14 - Leito de cinzas A1 em: a) PL1; e b) PL65.

Sobre A1 assenta um leito de *lapilli* pomítico médio com líticos médios a finos, denominado de L1 (Foto. 2.15), com uma espessura máxima de 98 cm (em PL1). Este leito caracteriza-se por apresentar níveis de *lapilli* fino numa matriz de cinzas pomíticas grosseiras e níveis de *lapilli* médio sem matriz de cinzas. Na base distingue-se um nível difuso de cinzas pomíticas ricas em líticos. Alguns dos líticos presentes neste leito apresentam alteração. Na transição entre L1 e o leito seguinte (A2) encontra-se uma zona de material grosseiro rico em líticos grosseiros (alguns de tamanho de bloco), predominantemente basálticos (*s.l.*).



Foto 2.15 – Aspecto do leito L1 (PL1).

Nos leitos que se encontram suprajacentes a L1, verifica-se uma alternância de leitos de cinzas pomíticas com leitos de *lapilli* pomítico, todos com pequenas espessuras. O primeiro é o leito A2 (Foto 2.16), constituído por cinzas pomíticas grosseiras e líticos basálticos (*s.l.*) finos com algumas zonas de *lapilli* pomítico fino. Sobre este leito assenta o L2 (Foto 2.16), um leito de *lapilli* pomítico com gradação inversa. O material do topo do L2 está envolvido pela cinza do nível superior. Segue-se um leito de cinzas pomíticas claras e finas (A3, Foto 2.16), onde se destacam alguns níveis muito finos de cinzas grosseiras, que apresentam variação lateral de espessura (variação que atinge os 2,4 cm). Neste leito podemos encontrar *lapilli* pomítico fino a médio disseminado nas cinzas finas. Sobre A3 assenta o leito L3 (Foto 2.16), constituído por *lapilli* pomítico médio a fino rico em líticos médios a finos, mal calibrado, que a 3 cm da base apresenta um fino leito de cinzas pomíticas claras e finas. Além dos líticos basálticos (*s.l.*), que são predominantes, também existem líticos de rochas mais evoluídas, onde se observa alguma alteração. Segue-se um leito de cinzas finas com alguns níveis descontínuos de cinzas grosseiras, muito soltas, tipo “areias”. Este leito denomina-se de A4 (Foto. 2.16) e tem uma espessura máxima de 4 cm (PL1).



Foto 2.16 – Alguns níveis da U2 (PL1).

O leito seguinte, L4 (Foto 2.17), é constituído essencialmente por *lapilli* pomítico médio com três zonas de *lapilli* mais grosseiro. A base e o topo são constituídos por material mais fino. Neste leito verifica-se que a pedra-pomes é diferente da encontrada nos outros leitos, uma vez que é rolada e não apresenta fracturas de queda. Superior a L4 está um nível constituído por cinzas pomíticas finas e claras (A5, Foto. 2.17) nas quais se distinguem duas zonas finas de *lapilli* pomítico muito fino. O leito seguinte, L5 (Foto 2.17), apresenta *lapilli* pomítico médio com alguns blocos e líticos finos a médios. O topo e a base são constituídos por material mais fino. O leito A6 (Foto. 2.17), com apenas 4 cm (em PL1) é constituído por cinzas pomíticas finas e claras, com finíssimos leitos de cinzas médias. O L6 (Foto 2.17), sobrejacente a A6, é um leito de *lapilli* pomítico médio riquíssimo em líticos médios, sendo a base ligeiramente mais fina. Os líticos presentes neste leito são de várias origens, podendo observar-se líticos basálticos (s.l.) e líticos comagmáticos alterados.



Foto 2.17 – Aspecto de alguns leito da U2 (PL1).

Sobrejacente a L6, encontra-se outro leito de *lapilli* pomítico (L7), distinto do anterior visto ser mais fino e estar alterado. Os dois níveis seguintes (A7 e L8) são os últimos leitos do depósito neste local e encontram-se muito alterados, terminando num pequeno solo acastanhado.

Tal como acontecia com a U1, a U2 também apresenta diferentes aspectos nas *facies* intermédias e distais. Em muito locais, a unidade encontra-se remobilizada e muito alterada, e quando isto não acontece, verifica-se o predomínio dos leitos de cinzas pomíticas e de algum *lapilli* fino, nas facies intermédias e distais da vertente E (Fig. 2.4f e 2.4g).

Na vertente SW (Figs. 2.4a e 2.4b), a Unidade 2 não se apresenta muito desenvolvida, podendo mesmo estar ausente (e.g. PL49 e PL59, Figs. 2.4b e 2.4a, respectivamente). Em alguns locais (e.g. PL11, Foto 2.18 e Fig. 2.5) constata-se que ocorreu a deposição simultânea das cinzas e do *lapilli*, dando origem a um nível de *lapilli* com matriz de cinzas (L1) que assenta directamente sobre a U1, com limites difusos. Os leitos que

assentam sobre o leito L1 caracterizam-se por possuírem uma grande quantidade de cinzas com *lapilli* médio a fino disseminado, apresentando em alguns locais, finos leitos de *lapilli* pomítico com líticos basálticos (s.l.), sem limites definidos. Estes leitos não têm nenhuma característica distintiva que os permita correlacionar com os leitos estabelecidos no corte de referência (PL1).

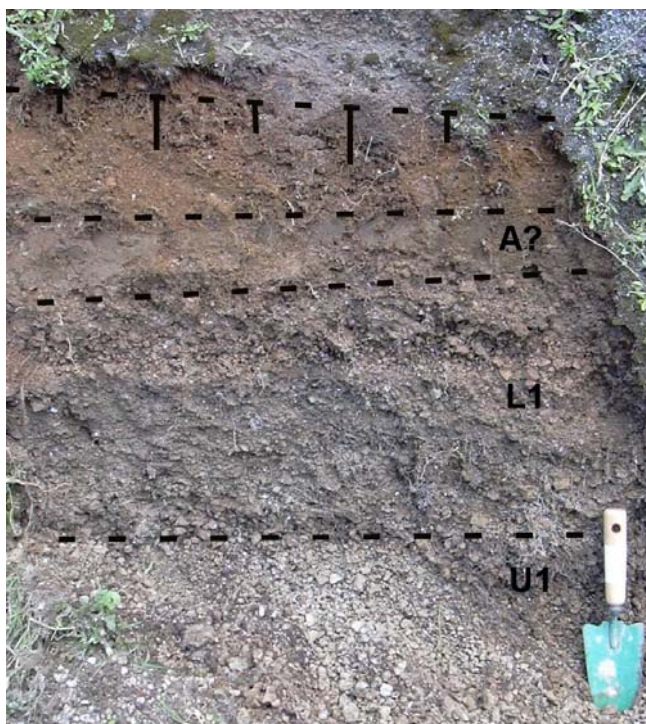


Foto. 2.18 - Aspecto do depósito Sete-P11 em PL11.

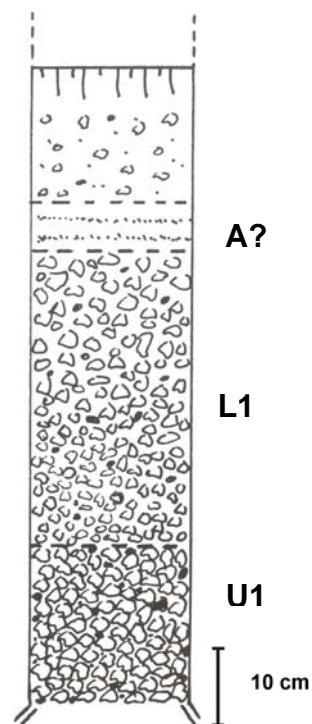


Fig. 2.5 - Corte esquemático de PL11.

Na Região dos Picos e nas vertentes S e SE do Vulcão das Sete Cidades verifica-se que a maior parte da U2 se encontra remobilizada, podendo no entanto distingir-se em alguns locais, o leito A1 (por ex. em PL22, Fig. 2.4d). Observa-se, também, alguns níveis de cinzas, que poderão corresponder a mais do que um leito dos predefinidos em PL1. Nestas vertentes (Fig. 2.4d), os níveis de cinzas e de *lapilli* pomítico numa matriz de cinzas são apenas correlacionáveis entre afloramentos deste sector, e nunca com o corte referência. O topo da Unidade 2 nem sempre apresenta solo, mas o último nível já apresenta alguma alteração.

A U2 tem melhor expressão na vertente E, sendo aí possível distinguir um maior número de níveis. Todavia, grande parte destes não é passível de se correlacionar com os definidos em PL1. Verifica-se que existe um predomínio dos níveis de cinzas (Foto 2.19 e Fig. 2.6), finas, podendo alguns corresponder a mais do que um leito.

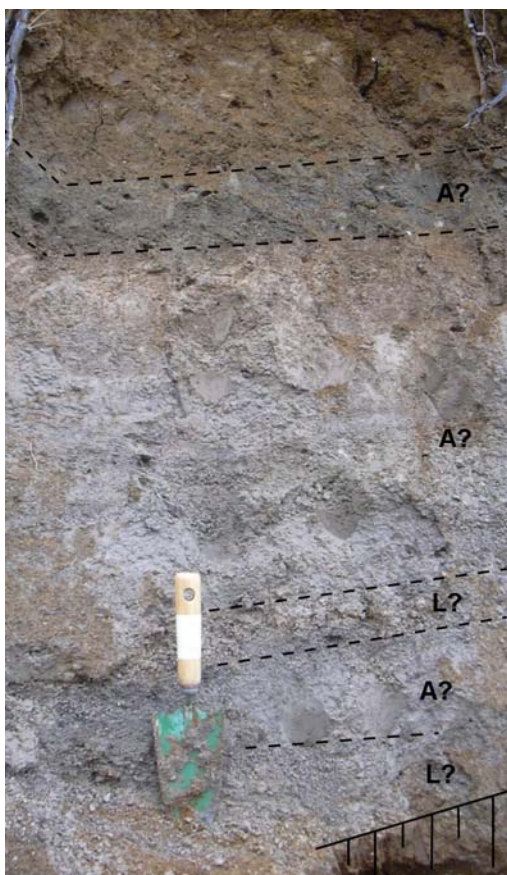


Foto. 2.19 - U2 na vertente E (PL17).

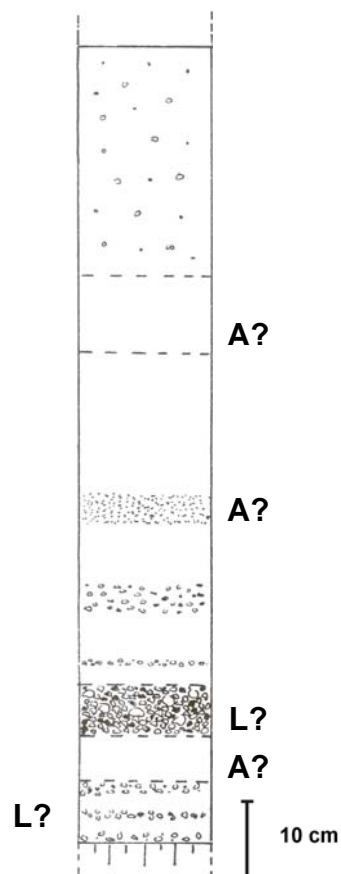


Fig. 2.6 - Corte esquemático de PL17.

É possível distinguir em vários locais os leitos A1 e L1. É de destacar que os níveis de cinzas finas apresentam finíssimos leitos de material mais grosseiro (cinzas grosseiras a *lapilli* fino), não contínuos. Em alguns cortes observa-se, no nível de cinzas superior, uma estratificação com espessura milimétrica ou submilimétrica, com vesículas dispostas entre os leitos (PL65) e com variação lateral de espessura. As cinzas são geralmente claras, finas, macias, compactas e apresentam material disseminado (pedra-pomes média a fina e líticos finos). No entanto, no topo observa-se um leito de

cinzas cinzento-escuro (e.g. PL16, PL17, Foto 2.18), muito enrijecidas, com pedrapomes e líticos disseminados.

No que concerne aos leitos de *lapilli* pomítico salienta-se que têm pouca expressão, não ultrapassando os 8 cm na *facies* mais distal (PL17). A maioria destes leitos possuem cinzas na matriz ou cinza a envolve os clastos. A pedrapomes que os constituem é em geral fina a média e verifica-se que estes leitos apresentam bastantes líticos basálticos (*s.l.*) finos.

### **2.3. ISOPACAS E ISOPLETAS**

As primeiras isopacas e isopletas traçadas para o depósito Sete-P11 foram as de Queiroz (1997). No entanto, com o estudo mais aprofundado a que o depósito foi sujeito com este trabalho, tornou-se fundamental fazer um tratamento individualizado das isopacas e isopletas, uma vez que depósito é constituído por vários leitos produzidos por diferentes mecanismos eruptivos. Assim, traçaram-se apenas as isopacas e isopletas das unidades U1 e U2, apesar da última ser constituída por vários leitos.

Devido às limitações de ordem estratigráfica o tratamento individualizado dos leitos que constituem o depósito Sete-P11 não é elaborado com o pormenor desejado. Estas limitações, principalmente em relação à U2, resultam de diferentes situações, das quais se destacam: 1) a não existência de taludes em algumas locais da área de estudo; 2) em muitos locais, principalmente na vertente E, não foi possível fazer a individualização dos diferentes leitos; 3) a alteração da unidade, que se apresenta remobilizada em diversos quadrantes; 4) as espessuras medidas no campo, que representam as espessuras actuais do depósito, segundo Blong (1984) podem ser metade da espessura original, uma vez que o depósito terá estado sujeito a processos de compactação ao longo do tempo; e 5) a erosão.

Tomando atenção as limitações enunciadas, traçaram-se, primeiramente, as isopacas e as isopletas, referentes ao diâmetros dos três maiores clastos de pedra-pomes e líticos, para a totalidade do depósito. Posteriormente, e com os elementos disponíveis para cada unidade, desenharam-se as isopacas e as isopletas para cada uma delas.

#### **2.3.1. Depósito total**

As isopacas e as isopletas definidas neste trabalho para a totalidade do depósito, são baseadas em medições efectuadas em 66 locais do maciço da Sete Cidades e da

Região dos Picos, não são concordantes com as definidas por Queiroz (1997), principalmente na vertente W, visto que nesta vertente o depósito não está presente.

As isopacas da totalidade do depósito (Fig. 2.7) revelam um importante eixo de dispersão com uma direcção aproximada de NE-SW, e um segundo eixo menos marcante que o anterior, dirigido para SSE.

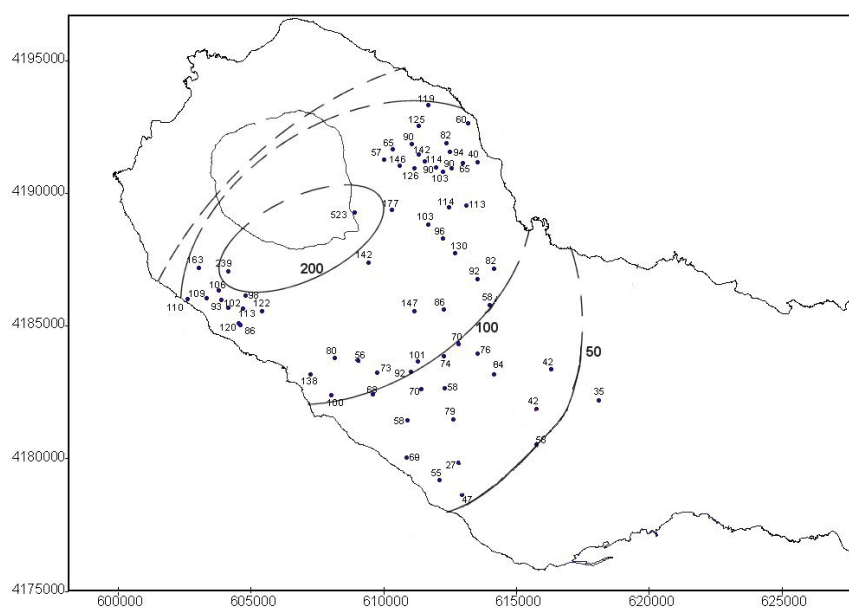


Fig. 2.7 - Isopacas do depósito Sete-P11. (Espessuras medidas em centímetros.)

A observação das isopacas para a totalidade do depósito permite verificar que existe uma diminuição gradual da espessura para SW, enquanto que essa diminuição no eixo é mais rápida.

Quando o traçado das isopacas é concêntrico, como as do depósito Fogo A (Walker e Croasdale, 1971) é um indicador de que o vento teve pouca influência durante a erupção. No entanto, esta situação que não se verifica com as isopacas traçadas para o depósito Sete-P11, o que leva a supor que o vento teve uma importância fundamental na dispersão dos produtos durante a erupção.

Não foi possível verificar a ocorrência da queda de lapilli e cinzas em zonas mais distantes da fonte, não se podendo deste modo prolongar as isopacas mais para o interior da ilha. Este facto pode ser explicado por dois factores: 1) o depósito já foi totalmente removido pela erosão e pela acção antrópica; e 2) a não existência de níveis de referência em zonas mais afastadas da fonte, não sendo por isso possível localizar, estratigraficamente, o depósito Sete-P11.

As isopletas respeitantes à média dos três maiores clastos de pedra-pomes e líticos, (Fig. 2.8 E Fig. 2.9, respectivamente) principalmente os clastos pomíticos que são mais sensíveis à actuação de agentes externos, com o vento, evidenciam, *a grosso modo*, os mesmos eixos de dispersão que as isopacas. A área mais afectada pelos clastos de maiores dimensões coincide com a área onde o depósito é de queda.

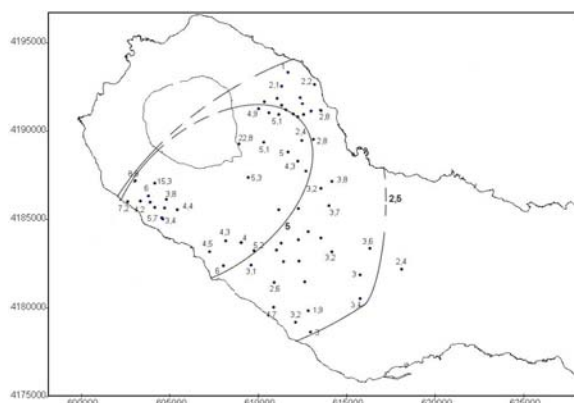


Fig. 2.8 - Mapa de isopletas relativas à pedra-pomes (medidas em cm.)

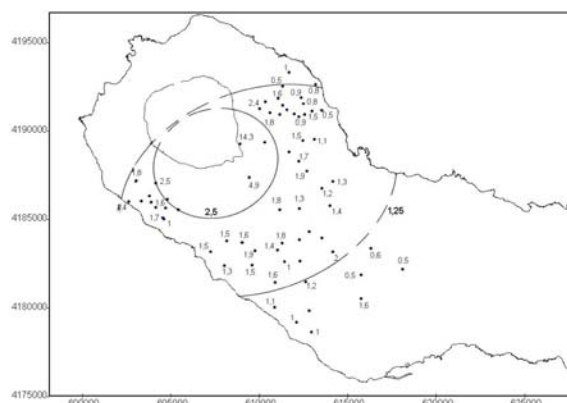


Fig. 2.9 - Mapa de isopletas relativas aos líticos (medidas em cm.)

A análise das isopacas e das isopletas da totalidade do depósito Sete-P11 não permite definir qual o seu centro emissor exacto. O traçado da isopacas e das isopletas da totalidade do depósito sugere que o centro emissor poderá ter sido a Lagoa Verde ou a Lagoa de Santiago, como anteriormente foi proposto por Queiroz (1997).

O traçado demonstrado pelas isopacas e isopletas para este depósito levam a crer que a dispersão foi condicionada pelas condições atmosféricas, mais concretamente pelo vento do quadrante NE.

No entanto um estudo realizado por Dinis (2006), permite visualizar as isopacas prováveis para a zona onde se encontra actualmente a cidade de Ponta Delgada (Fig. 2.10).

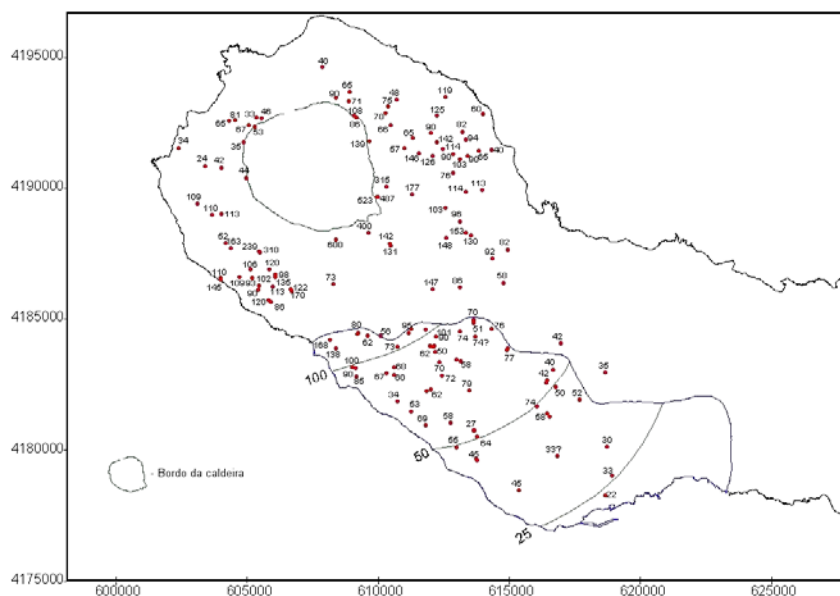


Fig. 2.10 - Mapa de isopacas do depósito Sete-P11 para a zona de Ponta Delgada (Dinis, 2006)

### 2.3.2. Unidade 1

Para a Unidade 1 foram definidas isopacas para os 100, 50 e 25 centímetros de espessura (Fig. 2.11). Verifica-se que o eixo principal de dispersão dos clastos que constituem a U1, tem a direcção NE-SW, no entanto pode-se considerar um segundo eixo, não tão importante, para SSE.

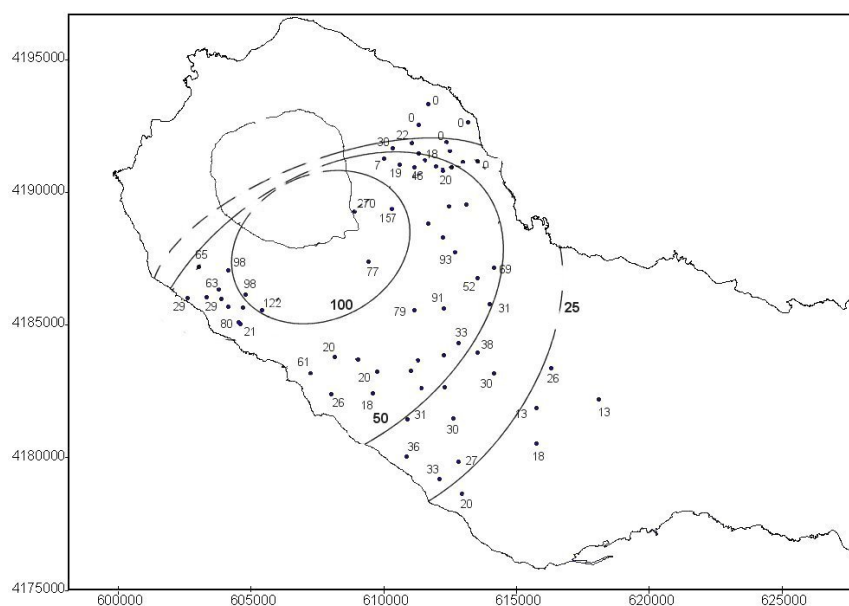


Fig. 2.11 - Isopacas da U1 (medidas em centímetros).

As isopleias da pedra-pomes e dos líticos (Fig. 2.12 e 2.13, respectivamente), evidenciam o mesmo padrão do depósito total. As isopleias da pedra-pomes apresentam um eixo principal com a direcção SW, enquanto que as isopleias respeitante aos líticos apresentam uma direcção principal para SE.

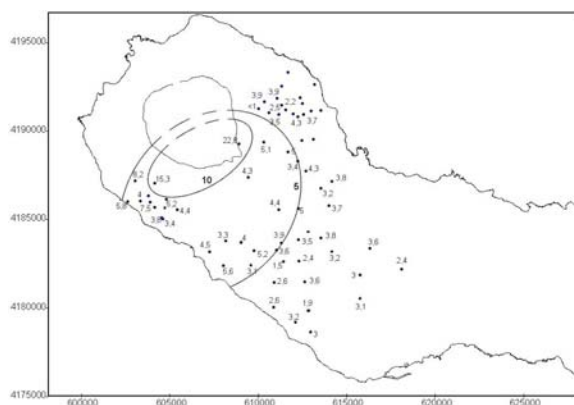


Fig. 2.12- Mapa de isopleias da pedra-pomes da U1 (medidas em cm).

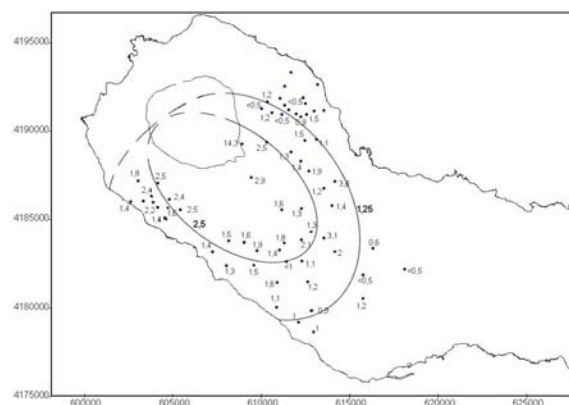


Fig. 2.13 - Mapa de isopleias dos líticos da U1 (medidas em cm).

O traçado das isopleias dos líticos permite verificar que foram fortemente influenciados pelo vento, que teria de ser moderado a forte, de modo a dispersar os líticos para zonas tão afastadas.

### 2.3.3. Unidade 2

As isopacas referentes à Unidade 2 (Fig. 2.14) mostram que existem dois eixos de dispersão, um com a direcção NE-SW e outro com a direcção SE. As isopacas revelam que os clastos de maiores dimensões tiveram um comportamento balístico, apresentando um direcção NE-SW, enquanto que o material mais fino é afectado pelo vento, apresentando um eixo de dispersão coadunante com a direcção principal do vento para a ilha de São Miguel, NE-SW.

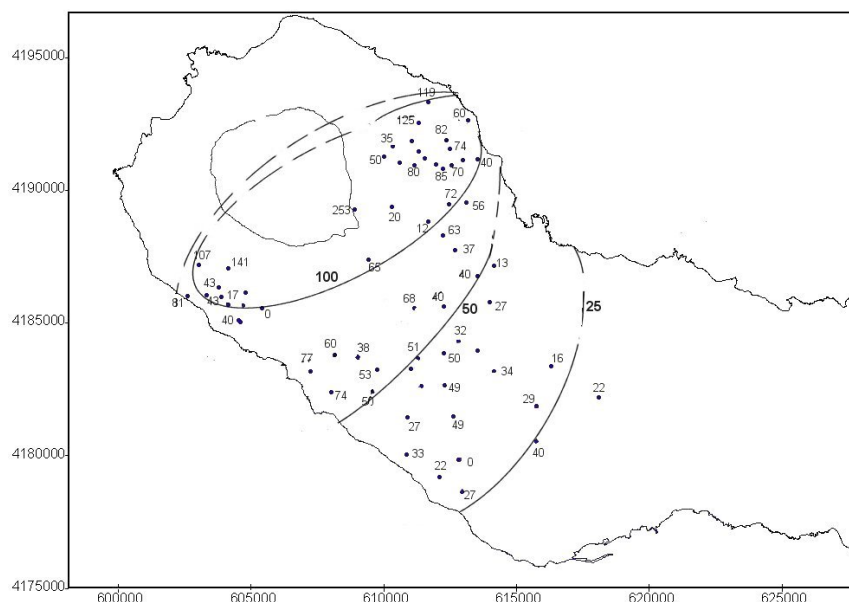


Fig. 2.14 – Isopacas da Unidade 2 (medidas em centímetros).

Relativamente às isopletas da pedra-pomes e dos líticos desta unidade (Fig. 2.15 e 2.16, respectivamente), verifica-se que a dispersão dos clastos, tanto da pedra-pomes como dos líticos (estes últimos com pouca visibilidade), apresentam um eixo de dispersão para NE-SW, com uma ligeira inclinação para S, no caso da pedra-pomes.

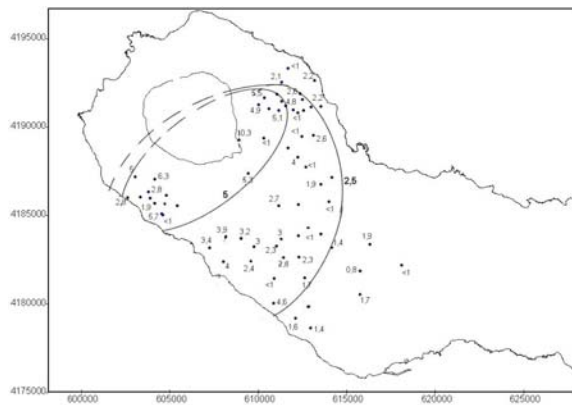


Fig. 2.15 - Mapa de isopleias da pedra-pomes da U2 (medidas em cm).

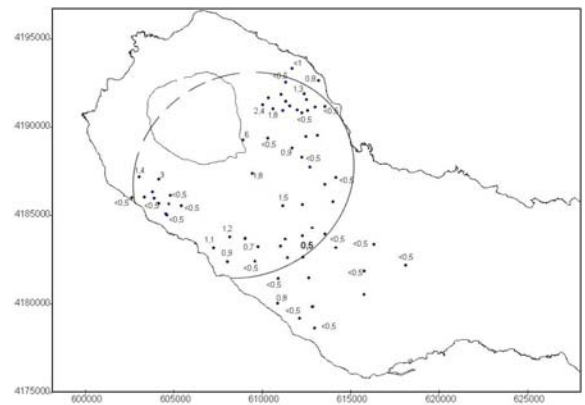


Fig. 2.16 - Mapa de isopleias dos líticos da U2 (medidas em cm).

Tanto os mapas de isopacas como os mapas de isopleias mostram que o vento teve um papel fundamental na dispersão do material expelido durante a erupção que deu origem ao depósito Sete-P11. A análise destes mapas também permitiu constatar que, principalmente na costa SW e S, muito do material foi depositado no mar.

## 2.4. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

### 2.4.1. Metodologia

Para proceder à determinação dos parâmetros físicos e granulométricos do depósito Sete-P11 foram realizadas 62 amostragens (Anexo III). Em cada local recolhe-se, sempre que possível, material dos diversos leitos que formam o depósito (Foto. 2.20).



Foto. 2.20- Recolha de material que constitui um dos leitos do depósito Sete-P11.

A quantidade de material amostrado é variável, dependendo se se trata de níveis de cinzas ou de níveis de *lapilli*, bem como da sua expressão.

No laboratório, as amostras foram colocadas na estufa, onde secaram e arrefeceram, de modo evitar erros de pesagem. As amostras foram, então, pesadas na totalidade numa balança analítica com uma precisão de 0,1 g. Procedeu-se, de seguida, à peneiragem das amostras em peneiros com intervalos de 1 phi ( $\phi$ ) desde  $-6 \phi$  a  $>5 \phi$  (64 a  $<0,0032$  mm).

O material grosseiro foi trabalhado na totalidade por peneiragem manual em peneiros com intervalos de 1 phi ( $\phi$ ) desde  $-6 \phi$  a  $-3 \phi$ . O material recolhido em cada peneiro foi

posteriormente separado dos seus diversos componentes (pedra-pomes e líticos) e pesado com uma precisão de 0,1 g.

Para a separação do material mais fino (com diâmetro inferior a 8 mm) houve a necessidade de recorrer a um divisor de amostras, de modo a reduzir a quantidade de material a tratar e obter uma amostra significativa dos leitos em estudo (com um volume aproximado de 300 cm<sup>3</sup>), que foi peneirada em 3 lotes de 100 cm<sup>3</sup>. A peneiragem foi realizada manualmente de modo a diminuir a abrasão entre os clastos. O material recolhido em cada peneiro foi pesado numa balança electrónica com uma precisão de 0,0001 g.

Para a análise de componentes das várias classes granulométricas (desde - 2  $\phi$  até 3  $\phi$ ) determinou-se que uma amostra de 800 grãos seria suficiente para caracterizar cada uma das fracções. Para as classes granulométricas mais finas (2  $\phi$  e 3  $\phi$ ) foi necessário recorrer à montagem dos grãos numa lâmina delgada. Foi então realizada a caracterização dos grãos à lupa binocular (desde -2  $\phi$  até ao 1  $\phi$ ) e ao microscópio petrográfico (as restantes classes granulométricas), classificando os clastos em pedra-pomes, líticos e cristais. Cada grupo de grãos observados à lupa binocular foi, posteriormente, pesado com uma precisão de 0,0001 g.

Posteriormente, os resultados obtidos através das diversas peneiragens foram extrapolados para o peso total da amostra e expressos em percentagem de peso para cada classe granulométrica e para cada constituinte da amostra.

#### **2.4.2. Granulometria**

As análises granulométricas (Anexo IV) efectuadas às amostras do depósito Sete-P11 revelam que 2/3 destas são bem calibradas, com valores de desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) entre 1,07 e 1,99 (parâmetro de Inman, 1952 *in*: Cas e Wright, 1987). No entanto, verifica-se que 1/3

das amostras (algumas da U1 e outras da U2) são pouco calibradas com valores de desvio padrão entre os 2,02 e 3,81 (parâmetro de Inman, 1952 *in*: Cas e Wright, 1987). O diâmetro médio dos clastos varia entre  $-3,57 \phi$  (SP2.2) e  $4,27 \phi$  (SP13).

Verifica-se que a percentagem de material fino ( $< 2\text{mm}$ ) é de 36,33%, no entanto o valor médio de material muito fino ( $< 0,125 \text{ mm}$ ) é de 7,64%.

O estudo separado das unidades que constituem o depósito Sete-P11 permite-nos conhecer melhor a granulometria de cada uma delas, bem como de alguns dos leitos que as constituem.

A U1 é uma unidade geralmente bem calibrada, tanto na *facies* proximal como nas *facies* distais, oscilando os valores de desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) entre 1,07 e 1,93, à excepção de quatro amostras (SP15, SP17, SP20 e SP43) que apresentam um desvio padrão superior a dois, sendo classificadas como pouco calibradas. Estas amostras correspondem aos níveis mais grosseiros da unidade.

Relativamente ao diâmetro médio verifica-se que nas regiões proximais, este atinge os valores mais elevados, apresentando um valor máximo de  $-3,57 \phi$  (SP2.2), e nas regiões distais apresenta o valor mínimo de  $-0,14 \phi$  (SP21). Destaca-se, ainda, que o diâmetro médio diminui com o aumento da distância à fonte, sendo esta diminuição mais acentuada na vertente E onde, em SP28 (a aproximadamente 3 Km de PL1), o diâmetro médio da amostra é de  $-0,98 \phi$ .

A projecção dos valores de  $\sigma\phi$  *versus*  $\phi$  (Fig. 2.17) mostra que todas as amostras caem dentro do campo dos depósitos de queda.

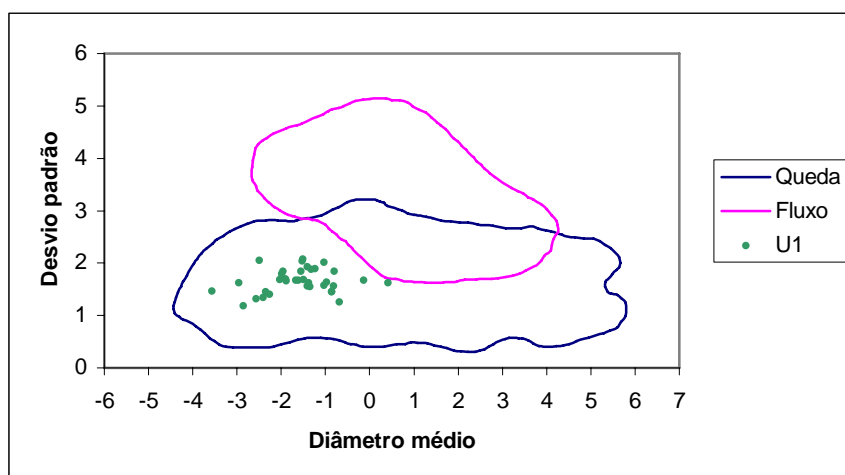


Fig. 2. 17 - Parâmetros granulométricos da U1 (gráfico  $\sigma\phi$  versus  $\phi$  com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971).

As análises granulométricas realizadas ao material recolhido à U2 (leito a leito) revelam que esta é uma unidade muito heterogênea com desvios padrão ( $\sigma\phi$ ) que oscilam entre 1,41 (SP13) e os 3,81 (SP24). Comparando as amostras da *facies* proximal com as amostras da *facies* distal verifica-se que na primeira as amostras são bem calibradas com valores de desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) entre 1,41 e 1,99, à exceção de dois leitos de cinzas, A5 e A6 (amostras SP5 e SP3, respectivamente), que são pouco calibradas, apresentando um desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) de 2,58 e 2,02, respectivamente. Na *facies* distal, as amostras são pouco calibrada, tendo o desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) valores que oscilam entre 2,02 e 3,81.

No que diz respeito ao diâmetro médio verifica-se que as amostras que constituem a U2 apresentam diâmetros menores que as amostras da U1. Deste modo o diâmetro médio varia entre os  $-2,72 \phi$  (SP1) e os  $4,27 \phi$  (SP13). No entanto, não se verifica uma notória diminuição do tamanho dos clastos com a distância à fonte como acontece na U1.

O resultado da projecção dos dados granulométricos de todas as amostras pertencentes à U2 num gráfico  $\phi$  versus  $\sigma\phi$  (Fig. 2.18) revelam que esta unidade apresenta leitos de queda e leitos de fluxo do tipo *surge*. Os leitos de fluxo correspondem aos cortes PL57 e PL65, localizados na vertente E do vulcão, e o PL3, localizado no Risco (vertente SW).

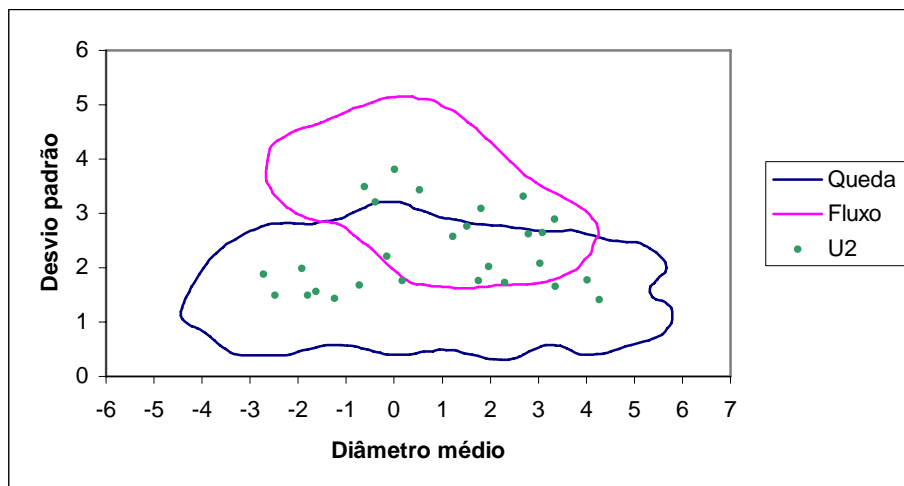


Fig. 2. 18 - Parâmetros granulométricos da U2 (gráfico  $\sigma\phi$  versus  $\phi$  com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971).

No que diz respeito aos valores dos dados granulométricos das amostras da *facies* proximal relativas à U2, quando projectados numa gráfico diâmetro médio *versus* desvio padrão (Fig. 2.19), verifica-se que nenhuma das amostras cai no campo do fluxo, no entanto existem algumas amostras correspondentes a níveis de cinzas, que estão localizadas na zona intermédia (as amostras SP3, SP5, SP7 e SP9).

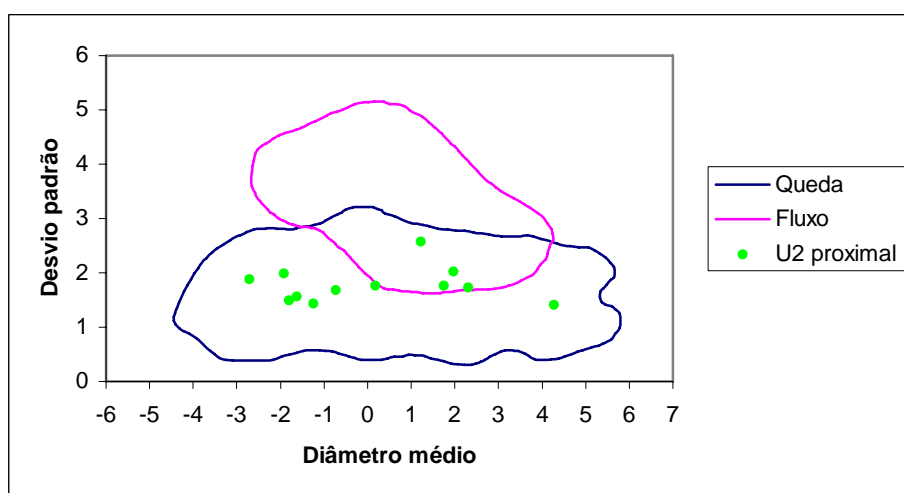


Fig. 2. 19 - Parâmetros granulométricos das amostras da *facies* proximal da U2 (gráfico  $\sigma\phi$  versus  $\phi$  com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker, 1971).

No que se refere às amostras pertencentes ao primeiro leito da U2 (A1) verifica-se que o diâmetro médio destas oscila entre os 3,08  $\phi$  (SP36) e os 4,27 $\phi$  (SP13). É de salientar que as amostras que se localizam mais próximas da fonte são bem calibrada, enquanto a que se encontra mais afastada (SP36) é pouco calibrada (desvio padrão igual a 2,65).

O outro leito da U2 onde foi possível estabelecer correlações estratigráficas foi o leito L1, ao qual correspondem as amostras SP14, SP44 e SP56. O diâmetro médio destas amostras oscila entre os -2,48  $\phi$  (SP44) e os -0,62 $\phi$  (SP14). Quanto à calibração constata-se que são bem calibradas à excepção da amostra SP14, que é mal calibrada.

### 2.4.3. Análise dos componentes

A análise dos componentes das amostras do depósito Sete-P11 revela que o constituinte principal é a pedra-pomes, à excepção de alguns leitos da U2 na *facies* proximal.

Relativamente ao conteúdo em pedra-pomes constata-se que a sua percentagem de peso (wt%) nas amostras varia entre os 12,16% (SP13) e os 89,20% (SP56). Comparando as amostras correspondentes às duas unidades verifica-se que percentagem em peso de pedra-pomes na U1 é superior a 50% (excepto três amostras, SP2.1, SP2.2 e SP31, em que os valores oscilam entre os 27,92 e os 49,98) ao contrário do que acontece nas amostras da U2, onde a wt% da pedra-pomes raramente ultrapassa esse valor.

Na U1 verifica-se que as amostras com menor wt% de pedra-pomes correspondem a amostras da *facies* proximal (SP2.1 e SP2.2) enquanto que nas *facies* distais estes valores são mais elevados. As amostras SP56 e SP46, recolhida na vertente E e na vertente SW, respectivamente, são dois exemplos de amostras onde a pedra-pomes é o constituinte principal (Fig. 2.20), ultrapassando a wt% os 84%.

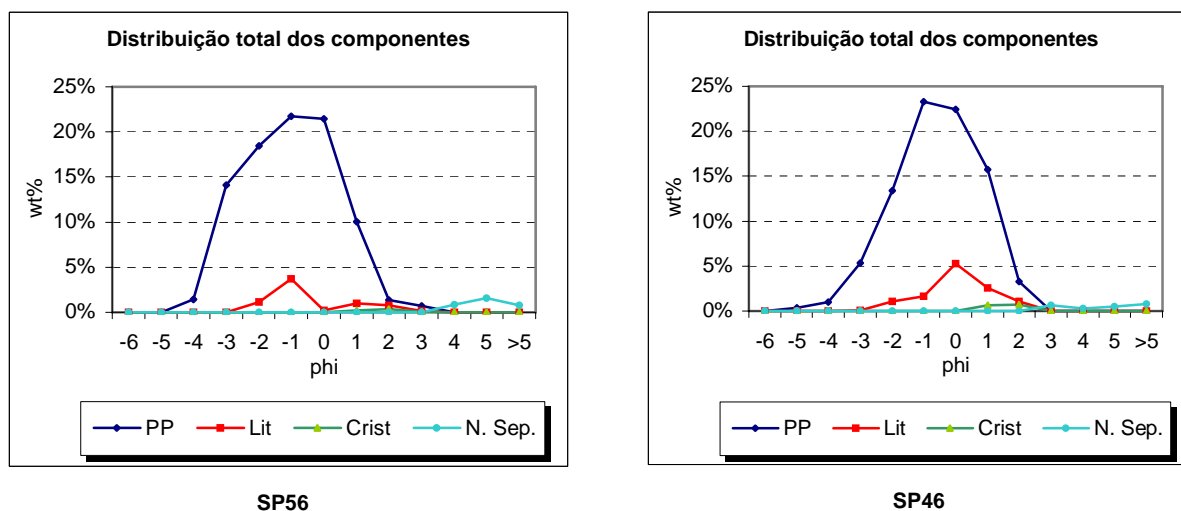


Fig. 2. 20 - Histogramas da distribuição das populações granulométricas.  
 Legenda: PP – Pedra-pomes; Lit. - Líticos; Crist. - Cristais; N. Sep. - Não separado.

Em regra, a pedra-pomes é bem calibrada. No entanto, verifica-se que a pedra-pomes de algumas amostras (SP1, SP24, SP25, SP27 e SP54) apresenta valores de desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) que oscilam entre os 2 e os 2,60 (parâmetro de Inman, 1952 *in*: Cas e Wright, 1987).

O diâmetro médio da pedra-pomes, varia entre os  $-3,50 \phi$  (SP2.2) e os  $1,70 \phi$  (SP53), sendo maior nas amostras correspondentes à U1. Na primeira unidade estratigráfica (U1), o diâmetro da pedra-pomes oscila entre  $-3,50 \phi$  (e.g. SP2.2) e  $-0,20 \phi$  (SP21), enquanto que na U2 os valores variam entre  $-3 \phi$  (SP1) e  $1,70 \phi$  (SP53).

O estudo dos líticos, presentes nas amostras do depósito Sete-P11, permitiu verificar que a quantidade destes é muito variada, dependendo da unidade e da distância à fonte. As maiores wt% de líticos encontram-se na *facies* proximal (amostras recolhidas em PL1), onde atinge um máximo de 69,43% (SP2.1, Fig. 2.21). Nas *facies* distais, as maiores percentagens de peso de líticos encontram-se nas amostras referentes à U1, variando entre os 6,94% e os 42,80% (SP56 e SP31, respectivamente). Na U2, nesta *facies*, a percentagem de líticos não ultrapassa os 22,85% (SP19).

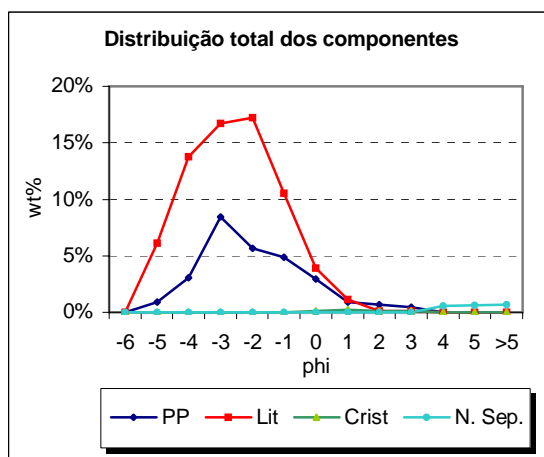


Fig. 2. 21 - Histograma da distribuição da população granulométrica da amostra SP2.1.

Legenda: PP – Pedra-pomes; Lit. - Líticos; Crist. - Cristais; N. Sep. - Não separado.

No que diz respeito ao desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) verifica-se que os líticos são, regra geral, bem calibrados. Destaca-se a amostra SP5, pertencente à U2, que apresenta um desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) de 2,20 sendo classificada como pouco calibrada.

O diâmetro médio dos líticos varia entre  $-3,70 \phi$  (SP2.2) e os  $1,80 \phi$  (SP53), sendo maior nas amostras da U1, como já acontecia com a pedra-pomes, onde os valores variam entre os  $-3,70 \phi$  (SP2.2) e  $-0,10 \phi$  (SP18), enquanto que na U2 as suas dimensões variam entre  $-2,70 \phi$  (SP1) e  $1,80 \phi$  (SP53).

No que concerne à razão pedra-pomes/líticos constata-se que na maior parte das amostras esta razão é superior a 1, atingindo um valor máximo de 12,85 (SP56). No entanto, existem algumas amostras (Tabela 2.2), de leitos de ambas as unidades, recolhidos no corte PL1, que apresentam uma razão pedra-pomes/líticos inferior a 1.

Tabela 2.2 – Amostras com razão pedra-pomes/líticos inferior a 1.

Amostra	Pedra-pomes (wt%)	Líticos (wt%)	Pedra-pomes / líticos
SP1	37,02	59,24	0,62
SP2.1	27,92	69,68	0,40
SP2.2	48,74	50,13	0,97
SP6	40,35	51,44	0,78
SP8	37,46	57,39	0,65
SP9	28,39	32,27	0,88
SP11	30,71	50,77	0,60
SP12	33,13	61,92	0,54

No que concerne aos cristais verifica-se que representam a menor fracção do depósito, apresentando, em SP9, um valor máximo de wt% de 14,34%. Verifica-se que na maior parte das amostras da *facies* proximal, os cristais surgem na fracção 1  $\phi$  enquanto que nas *facies* distais estes só surgem na fracção 0  $\phi$ .

Mais de metade das amostras estudadas revelam que os cristais estão muito bem calibrados, oscilando o desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) entre 0,40 e 0,90, as restantes estão bem calibradas, tendo valores de desvio padrão ( $\sigma\phi$ ) valores entre 1,00 e 1,40.

Relativamente ao diâmetro médio dos cristais verifica-se que o valor máximo é de -0,2  $\phi$  (SP35) e valor mínimo de 2,2  $\phi$  (SP39 e SP53). Comparando a U1 e a U2, constata-se que os cristais mais grosseiros aparecem na primeira unidade (diâmetro médio entre -0,20  $\phi$  e 1,40  $\phi$  em SP35 e SP43), enquanto que na U2 este parâmetro oscila entre 0,30  $\phi$  (e.g. SP8) e 2,20  $\phi$  (e.g. SP39).

## 2.5. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica dos constituintes de um depósito pomítico assenta sobre o estudo das partículas de vidro, visto estas permitirem obter informações sobre: 1) características do magma no início da fragmentação; 2) processos fragmentação durante a erupção; e 3) processo de transporte dos clastos (Heiken e Wohletz, 1991; Dellino e La Volpe, 1995).

### 2.5.1. Metodologia

Com o intuito de fazer a caracterização dos clastos juvenis do depósito Sete-P11, recorreu-se à observação num microscópio electrónico (SEM – *scanning electron microscope*). Desse modo foram preparados 7 suportes para SEM, com clastos pomíticos, de diâmetros entre 3 e 4 phi, como proposto por Dellino e La Volpe (1995). Este intervalo granulométrico foi escolhido por estes autores visto os clastos nele incluídos serem os que melhor definem os diferentes processos de fragmentação bem como fornecem informações sobre a dinâmica eruptiva e de transporte.

Em cada suporte (Foto. 2.21) foram colocados, aleatoriamente, aproximadamente 100 clastos juvenis. Dos clastos observados foram excluídos, visto não ser possível observar da superfície do vidro, os que: 1) se apresentavam completamente cobertos por partículas mais finas; e 2) os que se encontravam mal recobertos.

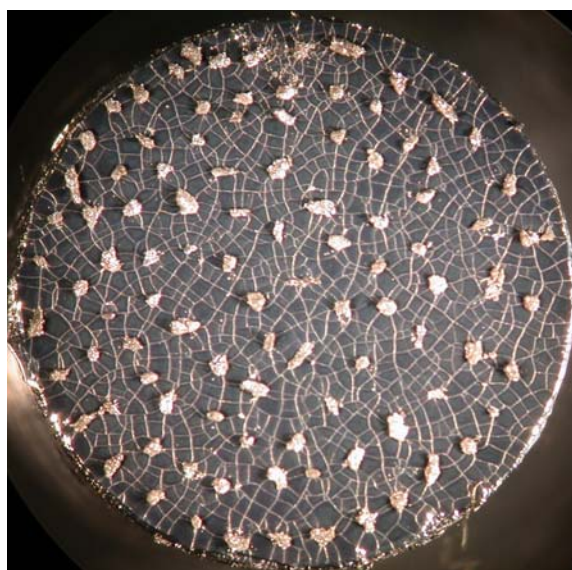


Foto. 2.21- Suporte da amostra SP2.1 (PL1).

As amostras seleccionadas para observação no microscópio electrónico pertencem a material recolhido na *facies* proximal (PL1) e são representativas de ambas as unidades. A selecção dos níveis a estudar teve como base as características observadas no campo e dos dados recolhidos através de análises granulométricas. Neste sentido escolheram-se duas amostras, uma pertencente à U1 (SP2 e SP2.1), que apresenta características magmáticas e outra pertencente ao primeiro leito da U2 (A1, amostra SP13), leito que apresenta características hidromagmáticas. As restantes amostras fazem parte da Unidade 2 e correspondem a leitos de *lapilli* sem matriz de cinzas (L3, L4 e L6 que correspondem às amostras SP8, SP6 e SP1, respectivamente) e a um leito de *lapilli* com matriz de cinzas (L1, amostra SP12). Estes leitos de *lapilli* foram seleccionados atendendo às suas características granulométricas, principalmente devido ao elevado teor em líticos (superior a 50% wt).

### 2.5.2. Esquema de classificação de cinzas vulcânicas

O estudo das cinzas vulcânicas fornece-nos importantes dados sobre os processos de fragmentação e transporte (Heiken e Wohletz, 1991). Este estudo pode ser realizado através de observação microscópica (SEM), onde se procede à análise das características texturais dos clastos juvenis, mais concretamente das cinzas finas. Apesar das cinzas finas serem típicas de depósitos hidromagmáticos, uma vez que o seu mecanismo de fragmentação envolve a vaporização da água externa devido ao calor magmático (Wohletz, 1983; Heiken e Wohletz, 1991), também estão presentes, em quantidades significativas (> 40% wt) em depósitos de origem magmática (Zimanowski *et al.*, 2003). Deste modo, as características das cinzas vulcânicas permitem separá-las em duas categorias, de acordo com o seu processo de fragmentação: (1) cinzas magmáticas, que resultam da exsolução e expansão dos gases no magma; e (2) cinzas hidromagmáticas, resultantes do contacto entre o magma e água, em profundidade ou à superfície (Heiken, 1972).

Para classificar as cinzas vulcânicas foram elaborados vários estudos, dos quais se destacam os desenvolvidos por Heiken (1974) e Heiken e Wohletz (1985), que utilizam, para definir os processos genéticos dos clastos, um método baseado no reconhecimento de certas características estruturais e texturais. No entanto, com este método não se obtêm resultados claros, principalmente no caso de as “estruturas-chave” definidas não estarem presentes.

Mais recentemente foi proposto um novo esquema de classificação dos clastos juvenis que foi proposto por Dellino e La Volpe (1996). Este esquema é baseado na frequência de ocorrência de cada um dos parâmetros previamente estipulados, permitindo fazer uma comparação objectiva das amostras em estudo. Dellino e La Volpe (1996) propõem a utilização dos seguintes parâmetros morfológicos: (1) forma das partículas; (2) forma do rebordo dos clastos; (3) presença ou não de estruturas na superfície do vidro; (4) abundância de vesículas; e (5) forma das vesículas.

## Forma das partículas

A forma das partículas é considerada por vários autores (e.g. Heiken e Wohletz, 1985) um parâmetro importante pois permite a distinção entre clastos de origem magmática e clastos de origem hidromagmática. As diferentes formas dos clastos pomíticos são controladas por diversos factores como, por exemplo, o crescimento das vesículas e a presença/ausência de fenocristais (Heiken e Wohletz, 1991).

As formas irregulares dos clastos juvenis (Foto 2.22) estão associada a processos de fragmentação magmática enquanto que a forma *Blocky and equant* (Foto 2.23) é típica de processos hidromagmáticos (Dellino e La Volpe, 1996).

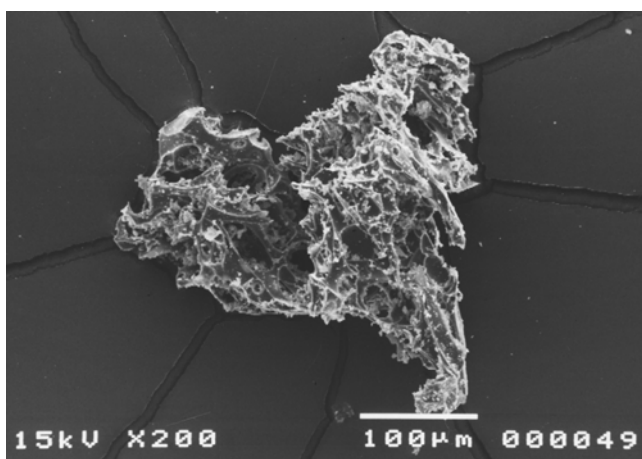


Foto 2.22 – Pedra-pomes com forma irregular (SP6).

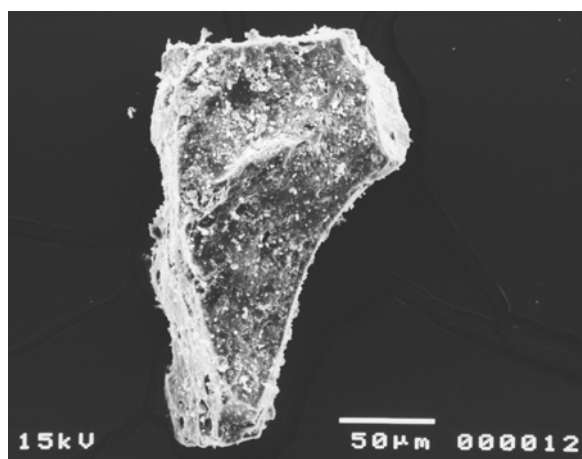


Foto 2.23 – Pedra-pomes com a forma *Blocky and equant* (SP13).

Destaca-se que as formas intermédias tanto ocorrem em depósitos magmáticos como em depósitos hidromagmáticos (Dellino *et al.*, 2001). No entanto, estes autores não classificaram todas as formas que os clastos podem apresentar, como por exemplo a forma esférica (Foto 2.24). Neste sentido, Dellino e La Volpe (1996) incluíram esta forma como uma variante da forma *Blocky and equant*, uma vez que clastos esféricos estão associados a processos de fragmentação hidromagmática (Wohletz, 1983)

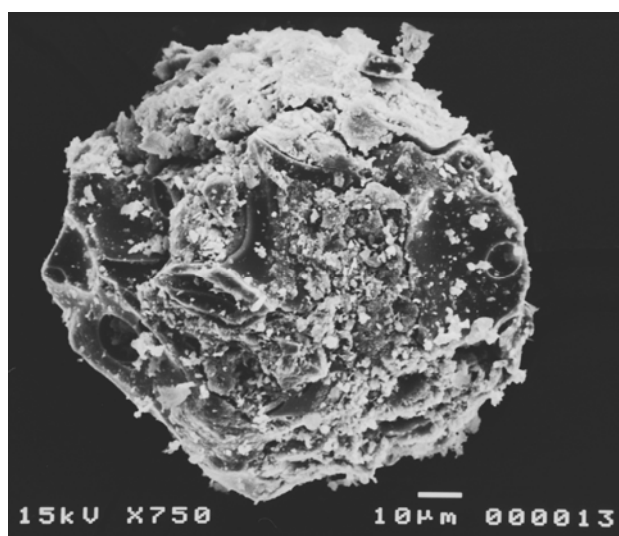


Foto 2.24 – Pedra-pomes com a forma arredondada (SP13).

### Rebordo das partículas

A forma do rebordo dos clastos está associada aos processos de fragmentação, no entanto, existem outros processos, tais como o transporte e a alteração a que os clastos estão sujeitos, que geram irregularidades nos bordos das partículas em diferentes escalas (Dellino e Liotino, 2002). Neste esquema de classificação essas irregularidades não são tidas em conta. Assim, verifica-se que a linearidade das partículas (Fig. 2.23) está associada à fragmentação hidromagmática em oposição aos rebordos côncavo-convexos (Fig. 2.22), associados à fragmentação magmática, pois resultam da desintegração das paredes das vesículas. As formas intermédias estão relacionadas com o aumento da irregularidade dos clastos (Dellino e La Volpe, 1996).

### Estruturas na superfície do vidro

Associadas à fragmentação hidromagmática podem ser observadas na superfície dos clastos juvenis: 1) fendas de arrefecimento ou fendas de hidratação; 2) corrosão química; e 3) partículas aderentes aos clastos (Dellino e La Volpe, 1996). As primeiras indicam a

ocorrência de contacto directo entre o magma e a água, com arrefecimento repentino e contracção das partículas ainda quentes (Büttner *et al.*, 2002). A corrosão química sugere a existência de agressões químicas de fluídos quentes sobre a superfície das partículas (Dellino e La Volpe, 1996). Por último, as partículas aderentes (Fig. 2.25) indicam-nos a presença de vapor de água condensado na pluma eruptiva, o que leva a agregação dos materiais (Heiken e Wohletz, 1985). Segundo Heiken e Wohletz (1985), a presença destas estruturas na superfície dos clastos levanta a possibilidade de o mecanismo de deposição ser do tipo *surge*. A ausência de qualquer uma das características atrás mencionadas indica que o processo de fragmentação a que o clasto esteve sujeito terá sido de origem magmática. No entanto, também está associada há fragmentação magmática a presença de fendas lineares (Fig. 2.26), que resultam, possivelmente, da expansão das bolhas de gás ou dos próprios clastos (Dellino e La Volpe, 1996).

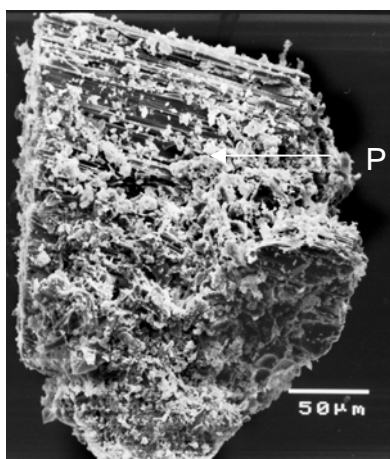


Fig. 2.25 - Pedra-pomes com partículas aderentes (SP2.1).

Legenda: P – partículas aderentes.

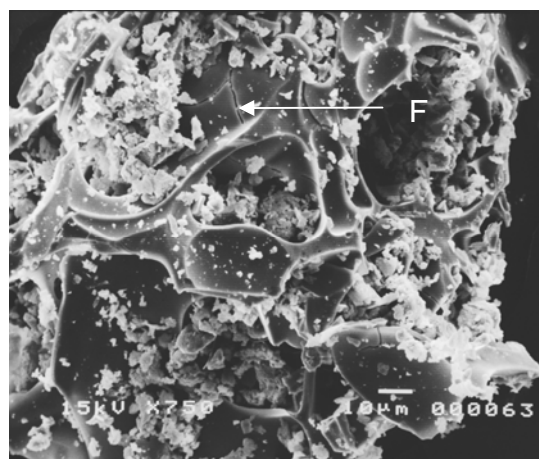


Fig. 2.26 - Pedra-pomes com fendas lineares (SP2.1).

Legenda: F – fenda.

### Abundância de vesículas

Segundo Dellino e La Volpe (1996), é de esperar que os clastos com um grande número de vesículas estejam associados a processos de fragmentação explosiva. Por este motivo, associa-se a grande quantidade de vesículas (Figura 2.27) a processos

magmáticos. Por outro lado, clastos com uma pequena quantidade (Fig. 2.28) ou ausência de vesículas, estão relacionados com processos hidromagmáticos (Dellino e La Volpe, 1996).

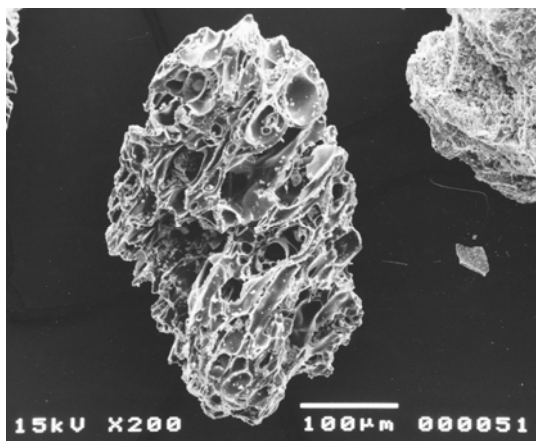


Fig. 2.27 - Pedra-pomes com muitas vesículas (SP12).

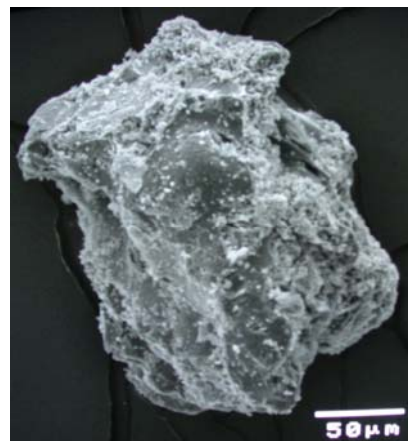


Fig. 2.28 - Pedra-pomes com poucas vesículas (SP6).

### Forma das vesículas

A forma das vesículas está associada a diversos factores, apresentando diferentes formas, que vão desde esférica até completamente deformada. A actuação de forças de tensão sobre o magma no início da fragmentação dá origem a vesículas com formas que vão desde esférica a alongada. No caso de vesículas deformadas, verifica-se que esta deformação pode resultar da interferência entre as bolhas de gás vizinhas no magma, uma vez que possuem pouco espaço para se expandir, levando ao aumento da pressão de gás, o que provoca a fragmentação explosiva (Sparks, 1978). Por isso, quanto maior a interferência entre as bolhas de gás, maior a deformação das vesículas. Atendendo a estas condicionantes, Dellino e La Volpe (1996) associam partículas que apresentem vesículas mais deformadas (Fig. 2.29) a processos de fragmentação magmática e clastos com vesículas esféricas (Fig. 2.30) a processos hidromagmáticos. Formas intermédias estão associadas a ambos os processos de fragmentação.

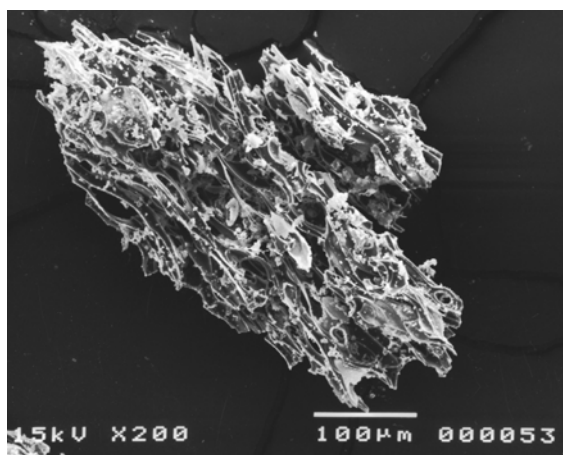


Fig. 2.29 - Pedra-pomes com vesículas deformadas (SP1).

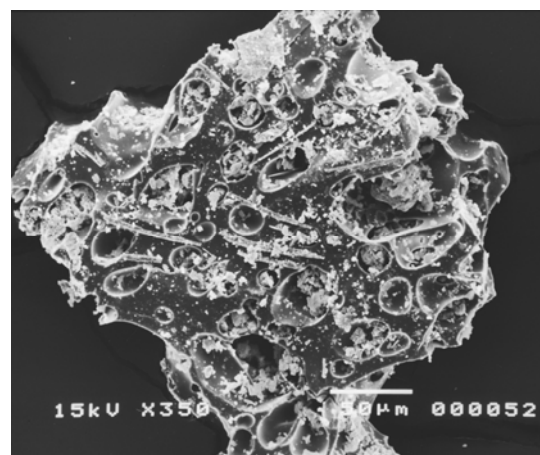


Fig. 2.30 - Pedra-pomes com vesículas esféricas e ovóides (SP1).

De modo a manter o esquema de classificação homogêneo e simples, Dellino e La Volpe (1996) propõem que a cada característica esteja associado um valor (Tabela 2.3), que oscila entre 1 e 5. Segundo estes autores, os valores mais baixos correspondem a características associadas a processos de fragmentação hidromagmática enquanto que os valores mais elevados estão associados à fragmentação magmática.

Tabela 2.3 – Esquema usado para a classificação de cinzas vulcânicas (modificado de: Dellino e La Volpe, 1996).

Valor	Forma das partículas	Rebordo das partículas	Estruturas da superfície do vidro	Abundância de vesículas	Forma das vesículas
1	<i>Blocky e equant</i>	Linear	Fendas de arrefecimento	Ausência	Ausência
2	Angular	Pouco irregular	Corrosão química	Muito Poucas	Esféricas
3	Alongada	Muito irregular	Partículas aderentes	Poucas	Ovóides
4	Curvo- alongada	Algumas reentrâncias	Fendas lineares	Muitas	Tubulares
5	Irregular	Côncava- convexa	Nada a destacar	Elevado nº.	Deformadas

### 2.5.3. Apresentação dos dados

A frequência de ocorrência das características morfológicas, mencionadas anteriormente, ajudará a definir os processos de fragmentação associados à erupção que deu origem ao depósito Sete-P11.

Baseado na tabela 2.3, foram classificados cada um dos clastos pertencentes às diferentes amostras, sendo, posteriormente calculadas as médias aritméticas para cada um dos parâmetros (Tab. 2.4). Como já foi referido anteriormente, uma média de valores baixa de cada um dos diferentes parâmetros coloca-nos perante clastos com características hidromagmáticas, enquanto que médias altas nos indicam que a presença de características magmáticas (Dellino *et al.*, 2001).

Tabela 2. 4- Médias aritméticas para cada um dos parâmetros morfológicos.

	Forma dos clastos	Contorno dos clastos	Estruturas à superfície	Quantidade de vesículas	Forma das vesículas
SP1	2,60	3,58	3,22	3,57	3,80
SP2	2,62	2,84	3,11	3,00	3,27
SP2.1	2,33	3,19	3,23	3,29	3,29
SP6	2,28	2,66	3,29	2,94	2,94
SP8	2,43	3,24	3,20	3,23	3,34
SP12	2,28	3,06	3,09	2,88	3,11
SP13	2,19	2,66	3,36	2,82	3,03

A análise do gráfico (Fig.2.22), referente à forma das partículas, permite verificar que não existe uma diferença significativa nas formas das várias amostras estudadas. Nas amostras correspondentes à U1 (SP2 e SP2.1) predominam as formas angular e alongada. No entanto, verifica-se que, na amostra SP2.1, está presente a forma *blocky* e *equant*. Clastos com formas irregulares são raros em ambas as amostras. Nas amostras

SP1, SP8 e SP12 predominam os clastos com forma angular (mais de 50% dos clastos estudados) existindo ainda clastos com forma irregular e com forma *blocky e equant* (em SP8 e SP12). Na amostra SP6 encontram-se todas as formas, predominando a angular e a alongada. A forma *blocky e equant* aparece em 13% dos clastos. A amostra SP13 é a que apresenta uma média mais baixa (Tab. 2.4) existindo um predomínio das formas angular e alongada e alguns clastos *blocky e equant* (aproximadamente 16%).

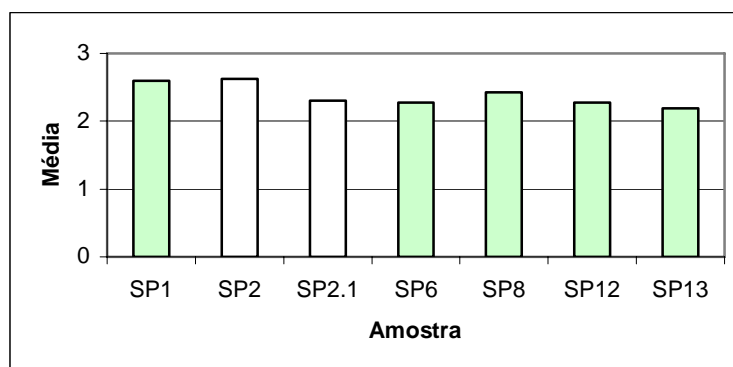


Fig. 2.22 – Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente ao parâmetro forma dos clastos. (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2).

Relativamente ao estudo do contorno dos clastos (Fig. 2.23) constata-se que os seus valores médios oscilam entre 2,66 e os 3,56 (Tab. 2.4). Na amostra SP1 verifica-se a predominância de contornos muito irregulares e com algumas reentrâncias. Não existem nos juvenis desta amostra clastos com contorno linear. Os clastos da amostra SP2 têm contornos que oscilam entre o pouco irregular e muito irregular. Verifica-se a inexistência de clastos com contorno linear e com contorno côncavo-convexo. Na amostra SP2.1 verifica-se o predomínio dos contornos muito irregulares e com algumas reentrâncias. Nas amostras SP6 e SP12, o contorno pouco irregular está presente em quase 50% dos clastos estudados. O contorno muito irregular é a forma de rebordo característico dos clastos pertencentes às amostras SP8 e SP13, estando presentes em mais de 50% dos clastos. Em SP13 constata-se a inexistência de clastos com contornos côncavo-convexos.

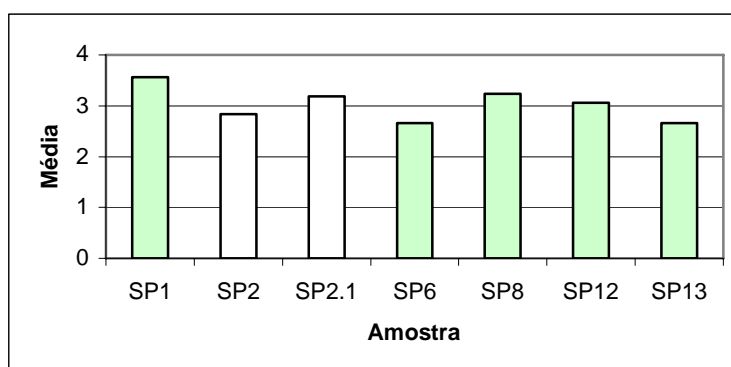


Fig. 2.23 – Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente ao parâmetro contorno dos clastos. (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2).

No que diz respeito às estruturas na superfície do vidro, verifica-se que em todas as amostras existem partículas aderentes, apresentando uma média de valores próximos de 3 (Tab. 2.4 e Fig.2.24). Além das partículas aderentes alguns clastos apresentam fendas lineares. Devido à grande quantidade de partículas aderentes na maior parte das amostras a observação deste parâmetro pode estar sobrevalorizado, uma vez que o campo de visão da superfície dos clastos estava parcialmente obstruído.

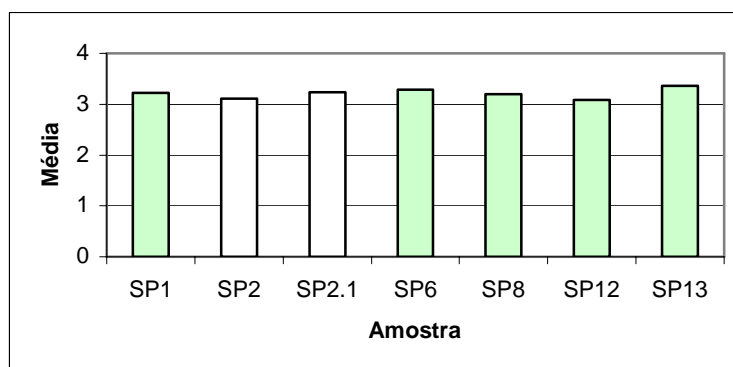


Fig. 2.24 – Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente ao parâmetro estruturas à superfície. (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2).

O parâmetro “abundância de vesículas” (Fig. 2.25) exhibe valores entre os 2,88 e 3,57 (Tab.2.4), podendo-se dizer que as amostras apresentam poucas vesículas, à excepção das amostras SP1 e SP2.1. Nestas amostras, constata-se que os clastos pomíticos

mostram um elevado número de vesículas (mais de 50% dos clastos). Somente na amostra SP12 é que se encontram clastos sem vesículas.

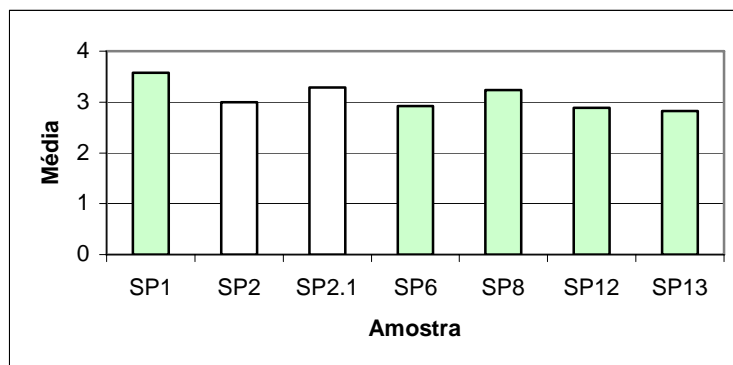


Fig. 2.25 – Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente ao parâmetro abundância de vesículas. (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2).

O parâmetro “forma das vesículas” apresenta valores que se situam entre 2,94 e 3,80 (Tab.2.4, Fig. 2.26). Verifica-se um predomínio da forma ovóide, apresentando em todas as amostras valores superiores a 50%.

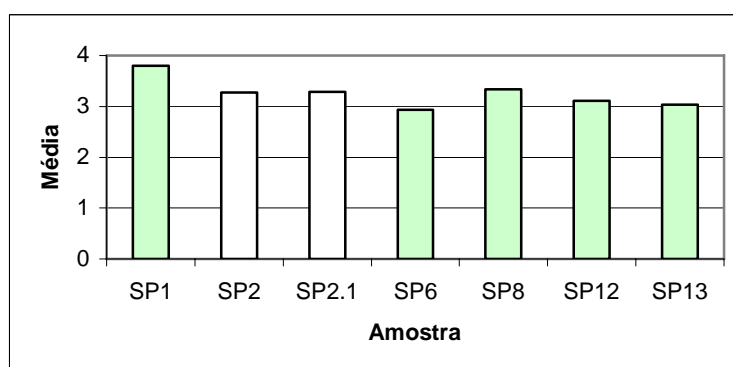


Fig. 2.26 – Diagrama do valor médio das diferentes amostras relativamente ao parâmetro forma das vesículas. (As colunas a branco representam as amostras da U1 e as verdes as amostras da U2).

As principais características resultantes do exame em SEM são: 1) forma *blocky* e *equant* presente; 2) predomínio de clastos com contorno irregular; 3) a maior parte dos clastos exibe pequenas partículas finas aderentes; 4) apenas alguns clastos mostram características relacionadas com as modificações da superfície, tais como fendas; 5)

ausência de fendas de arrefecimento e corrosão química; 6) a maioria dos grãos são vesiculados; e 7) predomínio de vesículas esféricas e alongadas.

## 2.6. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

As rochas que compõem o depósito Sete-P11 foram estudadas por Queiroz (1997), verificando que correspondem a traquitos. Na figura 2.27 apresenta-se o digrama  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  versus sílica (Le Bas *et al.*, 1986), com os dados obtidos por Queiroz (1997).

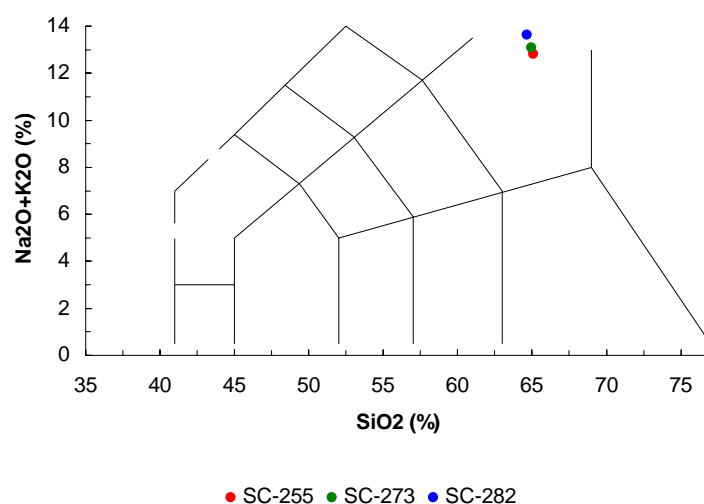


Fig. 2.27 - Classificação das amostras do depósito Sete-P11, com base no diagrama *alcalis versus sílica* (Le Bas *et al.*, 1986) com dados de Queiroz (1997).

Foi realizada a análise petrográfica de amostras colhidas no corte PL1, mais concretamente, da metade superior da U1 e do último leito de *lapilli* não alterado (L6) da U2. As amostras analisadas são piroclastos pomíticos de tom claro que apresentam na sua constituição cristais de feldspatos, acompanhados por esporádicos cristais de biotite, piroxenas e anfíbolos. Apresentam uma textura vítrea, tendo uma matriz constituída essencialmente por vidro, que apresenta estruturas de fluxo (vidro alinhado).

### 3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ELEMENTOS GRANULOMÉTRICOS E TEXTURAIS DO DEPÓSITO SETE-P11

#### 3.1. ELEMENTOS GRANULOMÉTRICOS

Os elementos obtidos através das análises granulométricas fornecem dados relativos à percentagem granulométricas dos componentes que constituem o depósito Sete-P11. No entanto, verifica-se que as populações que o constituem não são evidentes. Por este motivo, foi necessário recorrer ao tratamento dos dados granulométricos, através de técnicas de estatística multivariada, tal como já foi aplicado para outros depósitos (e.g. depósito do Monte Pilato-Rocche Rosse, em Itália) por Dellino e La Volpe (1995).

Nesta fase, a análise estatística incide sobre os dados granulométricos dos clastos juvenis que constituem as amostras. Como foi referido no capítulo anterior (Ver 2.4.1), a separação granulométrica foi executada em intervalos de  $1 \phi$ , desde  $>-6 \phi$  até  $< 5 \phi$ . De modo a obter dados mais fiáveis optou-se por não utilizar as granulometrias  $>-6 \phi$  e  $<5 \phi$ , uma vez que englobam mais do que uma classe granulométrica. Os clastos com granulometrias  $4 \phi$  e  $5 \phi$  também não foram utilizados, uma vez que não foi possível fazer a contagem dos clastos juvenis, devido a limitações temporais e laboratoriais. É de salientar que estas duas classes representam apenas 8,75% do material juvenil amostrado. Este tipo de análise não tem em conta o local de amostragem nem as relações espaciais entre as diversas amostras.

De modo a trabalhar os dados obtidos recorreu-se ao *software* SPSS (*Statistical Packages for the Social Sciences*), versão 14.0 para o Windows, obtendo-se no final a(s) população (ões) principal (is) do depósito e das duas unidades.

### 3.1.1. Conceitos estatísticos da Análise Factorial

A **Análise Factorial** é uma técnica estatística multivariada que permite reduzir a informação original, sem a perder (Reis, 1993 e 1997). Dentro da Análise Factorial, destaca-se a **Método das Componentes Principais** ou **R-Mode**, que é descrito de seguida.

O método das Componentes Principais é uma técnica de análise exploratória de dados em que ocorre a transformação de um conjunto de variáveis correlacionáveis e dependentes num conjunto menor de variáveis, independentes entre si, que não são mais do que combinações lineares das variáveis originais. Estas combinações são designadas de “**factores**” ou “**componentes principais**” (Davis, 1986; Reis, 1993 e 1997; Maroco, 2003). Neste trabalho, optou-se pela designação de componentes principais em detrimento de factores.

O objectivo do método das Componentes Principais é encontrar funções matemáticas que expliquem o máximo de variância existente, de modo a poder descrever e reduzir os dados, sem explicar as correlações entre eles. Deste modo não é preciso procurar factores subjacentes (Reis, 1993 e 1997; Maroco, 2003).

A vantagem desta técnica reside no facto de não ser necessário ter um conhecimento prévio do número de populações ou de parâmetros que são necessários para executar a técnica. No entanto, não se pode aplicar apenas a uma amostra. Verifica-se, também, que esta técnica só pode ser aplicada a variáveis quantitativas (Maroco, 2003).

O processo de cálculo das componentes principais é simplificado através da construção de uma matriz de correlações  $[n \times m]$ , onde as linhas representam as amostras e as colunas representam as  $p$  variáveis estudadas. A partir desta matriz são calculados os valores próprios (*eigenvalues*) e os autovectores (*eigenvectors*), que correspondem às componentes principais (Davis, 1986; Maroco, 2003; Landim, 2004).

A primeira componente principal ( $CP_1$ ) é a que explica a maior variância dos dados originais, a segunda ( $CP_2$ , independente da primeira) explica a máxima variância que ainda não foi explicada pela primeira componente principal, e assim sucessivamente. A variância total é dada pela soma de todas as variáveis (Davis, 1986; Reis, 1993 e 1997; Pestana e Gageiro, 1998; Maroco, 2003).

Segundo Maroco (2003), o número de componentes principais a extrair depende da quantidade de informação que pretendemos desprezar (“variância total desprezível”), e deve atender a duas regras, que apresentam alguma subjectividade. A primeira regra indica-nos que se deve reter as componentes principais com valores próprios maiores que 1, o que pode levar à escolha de mais componentes do que as que são necessárias. Na segunda regra recomenda-se a análise da representação gráfica dos valores próprios (*Scree plot*), de modo a verificar em que ponto é que a linha que liga as componentes principais apresenta um declive pouco acentuado, indicando-nos deste modo, o número de componentes principais a reter.

Depois de extraídas as componentes principais, procede-se à sua rotação através do método VARIMAX. Este passo permite maximizar a variação entre os valores de cada componente principal (Reis, 1997), isto é, fazer com que cada variável esteja fortemente associada apenas a uma componente principal (Pestana e Gageiro, 1997) e pouco associada aos outros (Maroco, 2003) de modo a obter dados mais fidedignos.

Os elementos encontrados para cada um dos autovectores não são mais do que coeficientes de equações lineares que transformam os dados originais em *scores* (contagens), que indica o valor que cada componente principal ou factor tem em cada amostra (Davis, 1986).

Assim, procedendo-se à multiplicação da matriz de dados originais com a matriz de autovectores, obtêm-se a matriz de *scores* ( $[S^R]$ ), representada do seguinte modo:

$$[S^R] = [X] [V]$$

onde  $[X]$  representa a matriz de dados originais  $[n \times m]$ ,  $[V]$  é a matriz que contém as componentes principais  $[m \times m]$  (Davis, 1986; Landim, 2004). Com os valores de *scores* obtidos é possível fazer uma representação gráfica, que permite estudar as amostras no que diz respeito às subpopulações que as constituem. O estudo da posição que cada amostra tem no diagrama de *scores* CP1 *versus* *scores* CP2, bem como os respectivos histogramas vai permitir estabelecer as subpopulações inerentes a cada amostra que constitui o depósito Sete P-11.

### 3.1.2. Análise de dados

Para proceder à Análise Factorial, mais concretamente, ao método das Componentes Principais, estipulou-se que as variáveis são definidas pelas classes granulométricas, em intervalos de  $1 \phi$ , desde  $-5 \phi$  a  $3 \phi$ , e dizem respeito à percentagem de peso dos clastos juvenis.

Este tratamento estatístico incidu sobre 47 amostras (Anexo V) que correspondem a ambas as unidades do depósito, recolhidas em diferentes locais da área de estudo.

A partir da análise da representação gráfica das componentes principais *versus* valores próprios (Fig. 3.1) verifica-se que o depósito Sete-P11 é caracterizado por duas componentes principais.

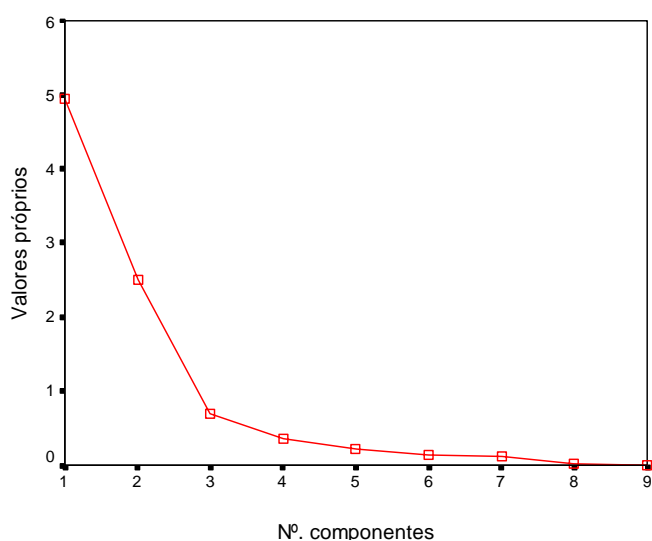


Fig. 3.1- Representação gráfica das componentes principais (Scree Plot)

A Tab. 3.1 (Tab. 3.1, Anexo V) corrobora a existência de duas componentes principais que explicam, aproximadamente, 83% da variância dos dados originais. As restantes componentes não são tidas em conta, uma vez que não obedecem aos critérios enunciados anteriormente (Ver 3.1.1).

Tabela 3.1 – Variância total das duas componentes principais extractadas para o depósito Sete-P11.

Componentes principais (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada
1	4,94	54,90	54,90	4,94	54,90	54,90	4,36	48,43	48,43
2	2,50	27,76	82,67	5,50	27,76	82,67	3,08	34,23	82,67

A primeira componente principal (CP1) possui um valor próprio de 4,36 e explica, aproximadamente, 48% da variância total, evidenciando duas populações granulométricas distintas (Fig. 3.2), uma entre  $-2 \phi$  e  $-1 \phi$  ( $4 - 2 \text{ mm}$ ), com valores positivos, correspondendo a *lapilli* fino, e outra entre  $2 \phi$  e  $3 \phi$  ( $0,25 - 0,125 \text{ mm}$ ), com valores negativos, que inclui as cinzas grosseiras.

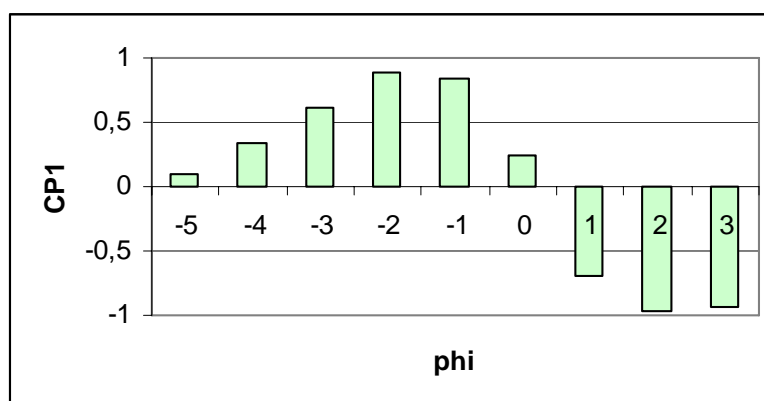


Fig. 3.2 – Componente principal 1 (CP1).

No que diz respeito à segunda componente, CP2 (Fig. 3.3), verifica-se que emergem mais duas populações, uma com valores positivos, entre  $-5 \phi$  e  $-3 \phi$  (32 - 8 mm) que corresponde a *lapilli* médio a grosseiro, e outra com valores negativos centrada no  $0 \phi$  (1 mm) que diz respeito a cinzas grosseiras. Esta componente tem um valor próprio de 3,08 e explica, aproximadamente, 34% da variância da população inicial.

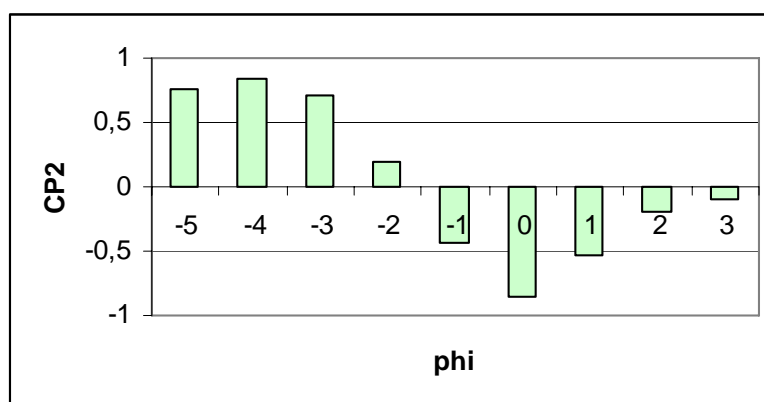


Fig. 3.3 – Componente principal 2 (CP2).

Atendendo aos dados obtidos, verificar-se que o depósito Sete-P11 é constituído por 3 populações: 1) *lapilli* grosseiro; 2) *lapilli* médio e 3) cinzas grosseiras. É importante realçar que os dados relativos às cinzas finas não foram usados neste estudo. As cinzas pertencentes ao intervalo entre  $4 \phi$  e  $>5 \phi$  representam 7,64% do material amostrado, não se sabendo por isso qual a sua importância para o estudo das populações principais.

Com os dados obtidos através do método das componentes principais ainda é possível estudar as subpopulações que constituem cada uma das amostras, procedendo-se à interpretação do diagrama de *scores* (Fig. 3.4). Na Fig. 3.4 optou-se por inserir alguns histogramas (a título de exemplo), de amostras com os valores de *scores* extremos, de modo a poder corroborar os dados obtidos através da análise do diagrama. As restantes amostras terão um comportamento semelhante às amostras apresentadas dependendo do quadrante do gráfico em que se encontrem.

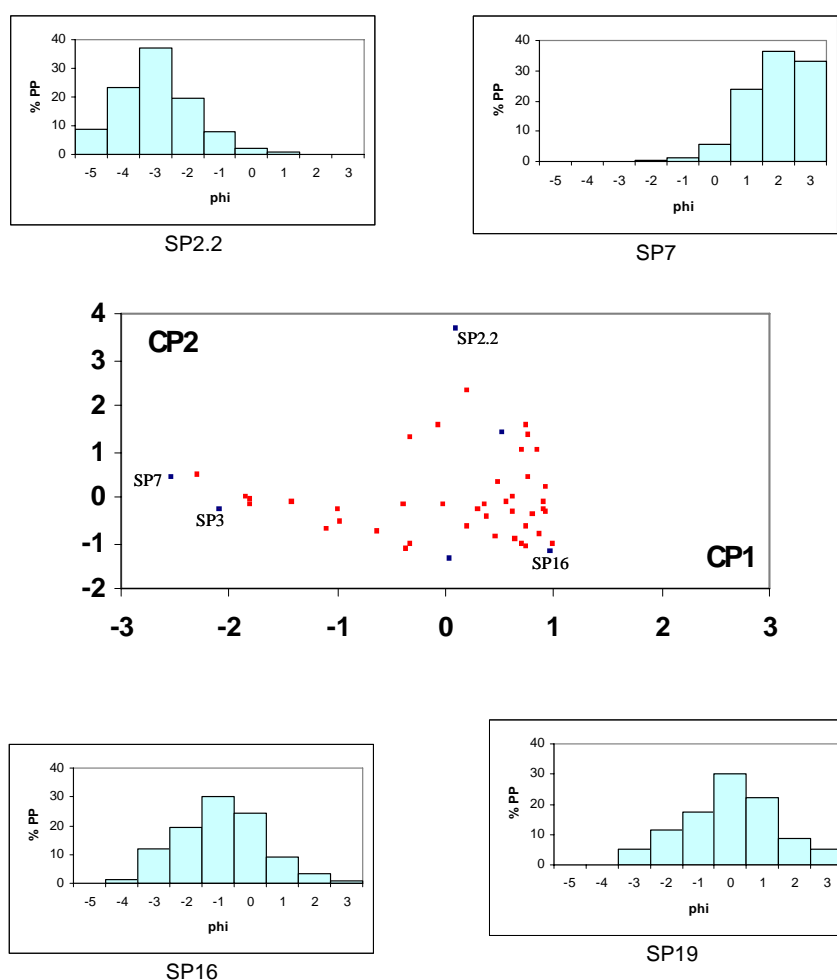


Fig. 3.4– Diagrama de *scores* CP1/CP2 do depósito Sete-P11. Histograma de algumas amostras.

No que diz respeito à amostra SP2.2 (U1) verifica-se que é a amostra que apresenta o valor mais elevado de *score* para a CP2. Deste modo, a população que caracteriza esta amostra está entre  $-5 \phi$  e  $-3 \phi$ . A análise do histograma revela que a subpopulação característica desta amostra se encontra entre  $-4 \phi$  e  $-3 \phi$ , logo dentro do intervalo da respectiva componente. As restantes populações não apresentam valores significativos ou estão ausentes. A frequência da distribuição dos tamanhos dos clastos que constituem esta amostra mostra que é unimodal.

A amostra SP7 (U2) é a amostra que apresenta o valor de *scores* mais negativo para a CP1, leva-nos a supor que a sua subpopulação principal se centra entre  $2 \phi$  a  $3 \phi$ . A análise do histograma permite confirmar estes dados e constata-se que as outras populações não se encontram presentes ou são pouco significativas. Os dados de granulometria revelam que é uma amostra unimodal.

A amostra SP16 (U1) apresenta valor de *score* negativo para CP2 e o valor de *score* mais elevado para a CP1. Nesta amostra a população situa-se entre  $-2 \phi$  e  $-1 \phi$ , porque é a população que na CP1 apresenta valores positivos. No que diz respeito às populações extraída pela CP2, verifica-se que a população com valores negativos ( $0 \phi$ ) é significativa na amostra. A observação do histograma desta amostra permite confirmar que estas duas populações estão significativamente presente na amostra. Deste modo, a amostra SP16 é considerada uma amostra bimodal.

Com o valor mais negativo para a CP2, a amostra SP19 apresenta um valor intermédio para a CP1. A sua subpopulação está centrada em  $0 \phi$ , como confirma a análise do histograma. A amostra é considerada unimodal.

Podemos concluir que as amostras do depósito Sete-P11 apresentam distribuições unimodais e polimodais. Cada distribuição é caracterizada por diferentes tipos de subpopulações. Algumas são caracterizadas apenas pelas populações correspondentes à CP1 ou à CP2, enquanto que outras são definidas por populações, que correspondem a

ambas as componentes principais. Segundo Dellino e La Volpe (1995) este resultado é o que se espera quando estamos perante depósitos de queda, onde se verifica que a granulometria diminui com a distância à fonte.

## Unidade 1

O estudo das componentes principais da U1 (Anexo VI) incide sobre o resultado obtido com os estudos granulométricos de 21 amostras. As componentes principais extraídas para esta unidade (Tab. 3.2) revelam que existem duas componentes que explicam 85,42% da variância total dos dados originais, sendo este valor superior ao obtido para a totalidade do depósito. Este facto pode estar relacionado com uma maior homogeneidade dos dados que caracterizam esta unidade.

Tabela 3.2 – Variância total das componentes principais da Unidade 1

Componentes principais (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada
1	5,58	61,99	61,99	5,58	61,99	61,99	3,87	42,96	42,96
2	2,11	23,43	85,42	2,11	23,43	85,42	3,83	42,45	85,42

Constata-se que ambas as componentes contribuem de modo semelhante para a caracterização da unidade.

A primeira componente principal (CP1) explica, aproximadamente, 43% da variância total evidenciando duas populações granulométricas distintas (Fig.3.5), uma entre  $-3 \phi$  e  $-2 \phi$  (8 - 4 mm), com valores negativos e outra entre  $1 \phi$  e  $3 \phi$  (0,5 - 0,125 mm), com valores positivos. Com um peso semelhante à CP1, assomam da CP2 (Fig. 3.6) duas populações que explicam 42,45% da variância total, uma com valores positivos, entre  $-5 \phi$  e  $-3 \phi$  (32 - 8mm), e outra com valores negativos, entre  $-1 \phi$  e  $0 \phi$  (2 - 1 mm).

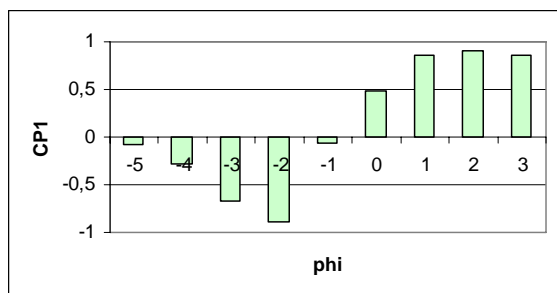


Fig. 3.5 – Componente principal 1 (CP1) da U1.

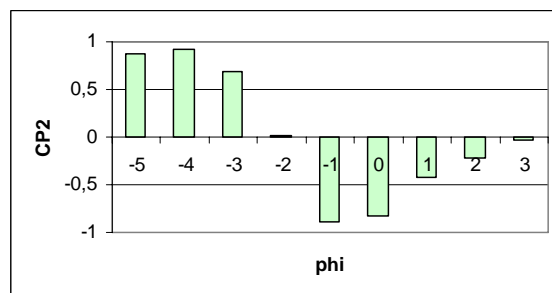


Fig. 3.6 – Componente principal 2 (CP2) da U1.

A análise do diagrama de *scores* para esta unidade (Fig. 3.7) permite verificar que existem subpopulações extremas que correspondem a amostras, na sua maioria, recolhidas nas *facies* distais (exceção para SP2.2). A maior parte das amostras apresenta valores de *scores* muito semelhantes o que permite concluir que as subpopulações são homogêneas apesar das amostras se encontrarem a grandes distâncias umas das outras.

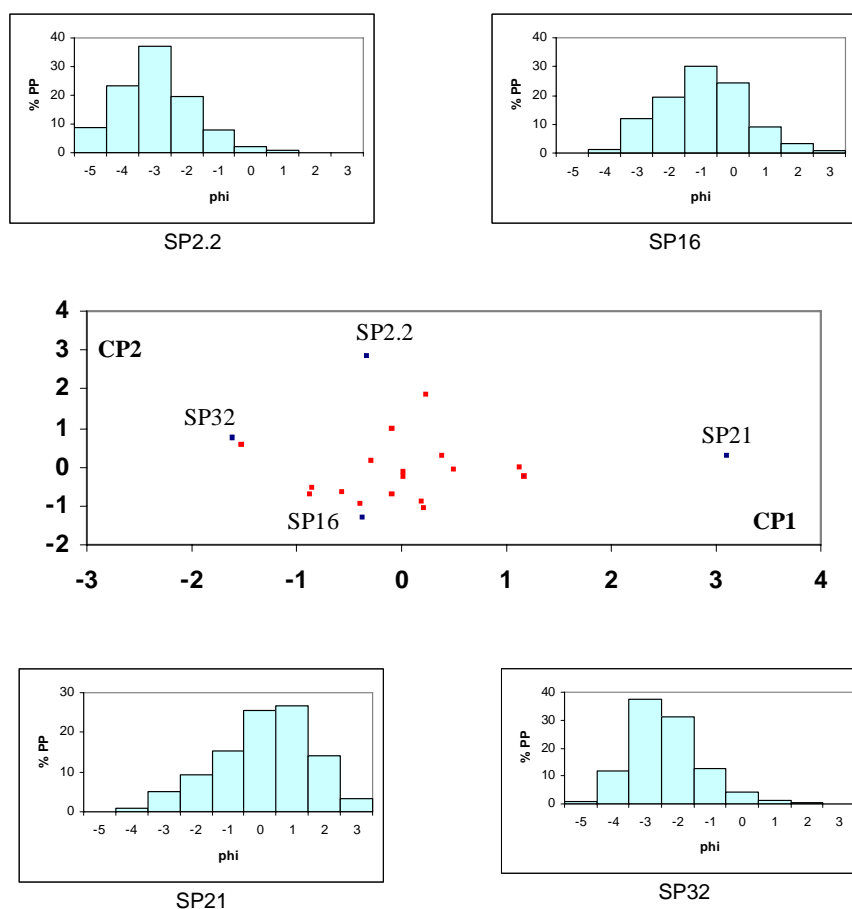


Fig. 3.7 - Diagrama de scores CP1 versus CP2 da U1. Histogramas de algumas amostras.

A amostra SP2.2 revela o mais elevado valor de *score* referente à CP2 o que nos leva a concluir que a subpopulação inerente a esta amostra está relacionada com o valor positivo da componente principal 2, isto é, entre  $-5 \phi$  e  $-4 \phi$ . Quando analisamos o histograma referente a esta amostra verifica-se que a subpopulação principal é entre  $-3 \phi$  e  $-4 \phi$ , o que concorda com a análise dos *scores*. As restantes populações não são evidentes. A amostra é unimodal.

A amostra SP16 apresenta valor de *score* negativo para CP1 e CP2. Nesta amostra a subpopulação situa-se entre  $-3 \phi$  e  $-2 \phi$  no que diz respeito à segunda componente, e entre  $-1 \phi$  e  $0 \phi$  para a segunda componente. A análise do histograma revela que a subpopulação se situa entre  $-2 \phi$  e  $0 \phi$ , o que indica que a amostra é bimodal.

No caso da amostra SP21, verificasse que se encontra bastante afastada das outras amostras. O seu valor de *score* para a CP1 é muito elevado, dando a entender que a sua subpopulação seria caracterizada pela granulometria entre  $1 \phi$  e  $3 \phi$ . No entanto a análise do respectivo histograma mostra que essa subpopulação é importante mas nas a fracção  $0 \phi$  também é significativa. A amostra é classificada como polimodal.

A amostra SP32 é a que apresenta o valor de *score* mais baixo para a CP1, a sua subpopulação deveria estar compreendida entre  $-3 \phi$  e  $-2 \phi$ . O histograma confirma esta observação. A amostra é unimodal.

## Unidade 2

O estudo de componentes principais da U2 (Anexo VII) incide sobre o resultado obtido com os estudos granulométricos de 26 amostras recolhidas em vários locais do maciço das Sete Cidades e áreas adjacentes. As componentes principais extraídas para esta unidade (Tab. 3.3) revelam que existem duas componentes que explicam 77,20% da variância total dos dados originais.

Tabela 3.3 – Variância total das componentes principais da Unidade 2.

Componentes principais (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada
1	4,88	54,23	54,23	4,88	54,23	54,23	4,31	47,84	47,84
2	2,07	22,97	77,20	2,07	22,97	77,20	2,64	29,36	77,20

A CP1 explica, aproximadamente, 48% da variância total, evidenciando duas populações granulométricas distintas (Fig. 3.8), uma entre  $-2 \phi$  e  $-1 \phi$  (4 - 2 mm), com valores positivos e outra entre  $2 \phi$  e  $3 \phi$  (0,25 - 0,125), com valores negativos. No que diz respeito à segunda componente principal, CP2 (Fig. 3.9), verifica-se que emergem mais duas

populações e que explicam 29,36% da variância, uma com valores positivos, com valores entre  $-4 \phi$  e  $-3 \phi$  (16 - 8 mm) e outra com valores negativos, centrada em  $0 \phi$  (1 mm).

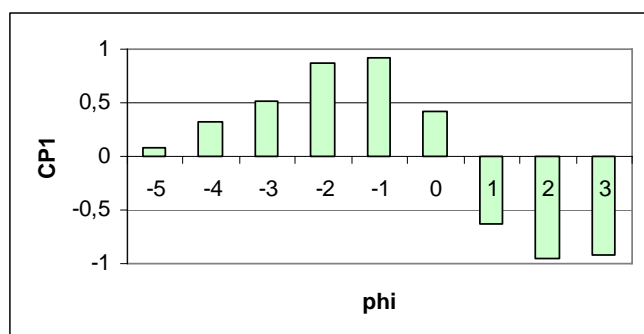


Fig. 3.8 – Componente principal 1 (CP1) da U2.

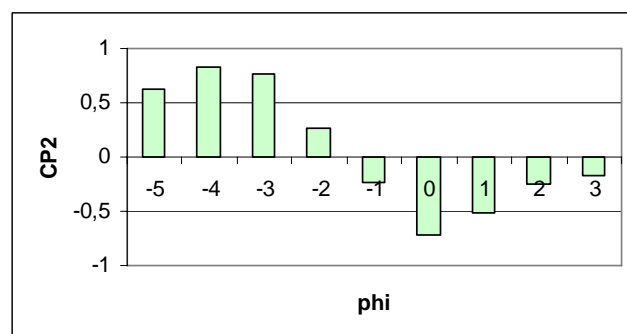


Fig. 3.9 – Componente principal 2 (CP2) da U2.

As populações extraídas para a Unidade 2 são iguais às que foram encontradas para a totalidade do depósito, à excepção da população positiva da CP2, mas que se encontra dentro do intervalo  $-5 \phi$  a  $3 \phi$  revelado para a totalidade do depósito.

A projecção dos *scores* CP1 *versus* *scores* CP2 para esta unidade (Fig. 3.10), permite verificar que existem populações extremas que correspondem a amostras, na sua maioria, recolhidas nas *facies* distais. Existe uma dispersão dos pontos correspondentes a esta unidade em relação ao que acontecia na Unidade 1. Este facto deve-se à heterogeneidade observada na Unidade 2.

A amostra que apresenta valores mais negativos para a CP1 é a SP7. Assim sendo, esta amostra apresenta uma subpopulação compreendida entre  $2 \phi$  e  $3 \phi$ , dado que é corroborado pelo histograma, sendo deste modo unimodal.

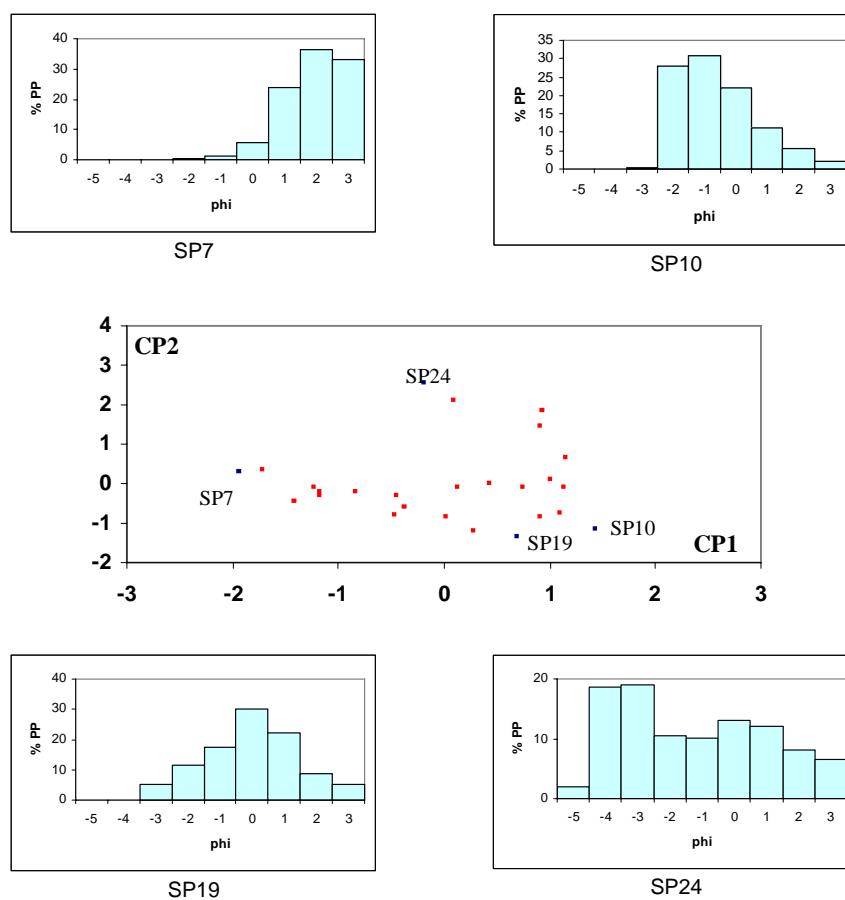


Fig. 3.10 - Diagrama de scores da CP1 versus CP2 da U2. Histogramas de algumas amostras.

A amostra SP10 encontra-se no extremo oposto, apresentando o valor mais elevado para a primeira componente, sendo caracterizado por uma subpopulação compreendida entre  $-2 \phi$  e  $-1 \phi$ . O histograma confirma esta observação sendo a amostra classificada como unimodal.

Relativamente à amostra SP19, que apresenta o valor mais negativo para a CP2 e positiva para a CP1, estando a sua subpopulação centrada no  $0 \phi$ , dado confirmado pelo respectivo histograma. A amostra é unimodal.

Com o valor mais elevado da CP2, a amostra SP24 revela uma subpopulação entre  $-4 \phi$  e  $-3 \phi$ , como confirma o histograma, sendo classificada como unimodal.

## 3.2. ELEMENTOS TEXTURAIS

O estudo da textura dos clastos juvenis que constituem um depósito pomítico fornecem importantes informações sobre os processos de fragmentação a que o magma esteve sujeito durante a sua extrusão. De modo a aprofundar o estudo sobre os processos de fragmentação a que os clastos do depósito Sete-P11 estiveram sujeitos, procedeu-se ao tratamento estatístico dos parâmetros texturais dos clastos juvenis, tal como referido no subcapítulo 2.5.2

Os dados da análise microscópica da pedra-pomes (Ver Cap. 2.5) foram submetidos a um tratamento estatístico que tem como objectivo agrupar as amostras em grupos homogéneos, de acordo com as suas características, podendo-se, deste modo, determinar os processos de fragmentação associados. Para esse fim é usada a Análise de *Clusters*, como proposto por Dellino e La Volpe (1995).

No capítulo anterior foram calculados os valores de cada um dos parâmetros (Ver Cap. 2.5). Neste capítulo apenas é apresentado o tratamento estatístico multivariado baseado no método de *Clusters* ou de grupos.

Para a análise de *Clusters* utilizou-se o *software* SPSS (*Statistical Packages for the Social Sciences*), versão 14.0 para o Windows.

### 3.2.1. Conceitos estatísticos do método de Clusters ou de Grupos

O método de *Clusters* ou de Grupos é uma técnica exploratória de análise multivariada onde os dados originais são organizados e agrupados em grupos homogéneos ou compactos, relativamente a uma ou mais características comuns, que têm a designação de **clusters**. Assim, a informação contida num *cluster* é semelhante a todas as informações contidas nesse mesmo *cluster* e diferente da dos outros *clusters* (Reis, 1993

e 1997; Maroco, 2003). Segundo Maroco (2003), esta técnica não possui fundamentos teóricos sólidos e apenas procurar agrupar objectos mais ou menos homogêneos de acordo com critérios mais ou menos heurísticos (Maroco, 2003).

Neste tipo de análise, a agregação dos sujeitos ou variáveis é feita a partir de medidas de semelhança (proximidade) e dissemelhança (distância) entre dois sujeitos ou variáveis e, posteriormente, entre dois *clusters* usando para o efeito técnicas hierárquicas e não hierárquicas (Maroco, 2003).

No presente trabalho optou-se pelo **método hierárquico aglomerativo**, onde a partir de cada sujeito (*Cluster*) se procede à sua agregação com outros sujeitos (*Clusters*), de acordo com a proximidade entre eles (daí a designação de aglomerativo) (Maroco, 2003).

O método hierárquico aglomerativo começa com a formação de  $n$  *Clusters* (ou *grupos*), a partir dos quais é calculada a sua matriz de proximidade, de modo a que os vários *clusters* vão sendo agrupados de acordo com as suas semelhanças até se obter apenas um *cluster* ou grupo onde estão incluídas todas as amostras (Reis, 1993 e 1997; Maroco, 2003). Estes agrupamentos são executados recorrendo a índices de (dis)semelhanças, que neste trabalho será a **distância euclidiana**, uma medida de dissemelhança métrica. Para  $m$  variáveis, a distância euclidiana entre dois sujeitos é obtida através da seguinte fórmula:

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2}{m}}$$

onde  $X_{ik}$  e  $X_{jk}$  é o valor da variável  $k$  no sujeito  $i$  e  $j$  (respectivamente), e  $m$  o número de variáveis observadas. Menor a distância observada entre duas amostras maior é a sua semelhança (Davis, 1986; Maroco, 2003).

A ordem pela qual os grupos são formados deve-se ao critério de agregação/desagregação escolhido. Optou-se pelo método do *complete linkage* (farthest-neighbor) ou maior distância, como o utilizado por Dellino *et al.* (2001). Neste método, a distância diz respeito às amostras mais afastadas, isto é,  $d_{(i-j)-k} = \max\{d_{i-k}; d_{j-k}\}$  e, conseqüentemente, menos semelhantes, dando origem a clusters mais compactos, mais rigorosos (Reis, 1997; Maroco, 2003; Landim, 2004).

Os resultados da Análise de Clusters é-nos dado através de uma representação gráfica denominada de dendograma, onde é possível visualizar as distâncias entre cada amostra realizadas numa escala de distâncias, que varia entre 0 e 25 (Pestana e Gageiro, 1998).

### 3.2.2. Análise dos dados

No presente trabalho, as variáveis são a forma das partículas, o rebordo das partículas, as estruturas da superfície do vidro, a abundância de vesículas e a sua forma. Os valores dizem respeito à média dos valores (Anexo VIII) obtidos nas observações para cada amostra nas diversas variáveis.

O resultado da análise de *Clusters*, através do método aglomerativo permitiu construir o seguinte dendograma (Fig.3.4). As amostras ou grupos de amostras próximos um do outro no dendograma têm características morfológicas semelhantes, em contraste com os que se encontram mais afastados, que apresenta características diferentes.

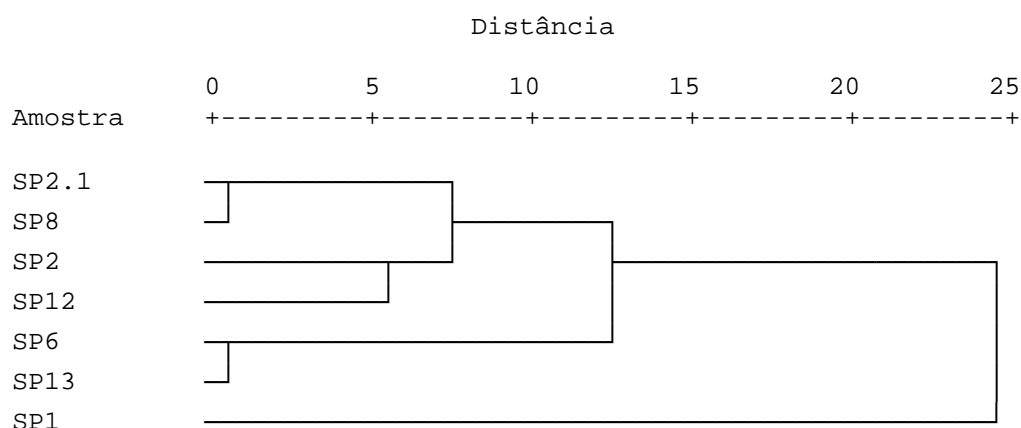


Fig. 3.11 - Dendrograma das amostras do depósito Sete-P11.

Para Dellino e La Volpe (1996), a hierarquia obtida com os *clusters* permite fazer a discriminação das amostras no que diz respeito aos processos de fragmentação que estiveram na sua origem. Tendo em conta as distâncias que as amostras apresentam no dendrograma verificamos que é possível distinguir dois *clusters* principais. Estes dois *clusters*, fazem a separação entre as amostras com características magmáticas e as amostras com características hidromagmática.

De modo a simplificar as ideias, cada um dos *clusters* será designado pelo processo de fragmentação das amostras que contem. Assim temos um *cluster* magmático, da qual faz parte a amostra SP1, e um *cluster* hidromagmático, da qual fazem parte as restantes amostras.

A amostra incluída o *cluster* magmático encontrando-se muito afastada das outras amostras, o que indica que as suas características são muito diferentes. A SP1 apresenta valores elevados em todos os parâmetros estudados, principalmente no que diz respeito ao contorno dos clastos e quantidade e forma das vesículas. A presença de fendas lineares é um indicador de fragmentação magmática bem como o elevado número de vesículas deformadas (Dellino e La Volpe, 1996).

Constata-se que as amostras da U1 (SP2 e SP2.1) estão agrupadas juntamente com as amostras da U2, o que leva a crer que os processos de fragmentação a que estiveram

sujeitos sejam semelhante e incluídas no *cluster* hidromagmático, no qual podemos distinguir três grupos: 1) amostras SP2.1 e SP8, sendo a primeira representativa da U1 e a segunda da U2; 2) o segundo grupo corresponde a amostras SP2 e SP12, pertencentes à U1 e U2, respectivamente; e 3) amostra SP6 e SP13, pertencentes à U2 e que se distanciam dos restantes grupos.

No primeiro grupo, verifica-se que as amostras SP2.1 e SP8 estão muito próximas, o que pode indicar que poderão ter tido processos de fragmentação semelhantes. O resultado do dendograma coloca estas amostras no campo hidromagmático. No entanto, as características morfológicas (à excepção da forma dos clastos, todos os parâmetros são superiores a três, Anexo VIII) apresentadas por estas amostras parecem fazer indicar que se encontram no campo dos processos magmáticos.

Situação similar acontece com as amostras do segundo grupo. As observações de campo e as características morfológicas (Anexo VIII) apontam para que estas amostras apresentem características decorrentes de processos magmáticos (elevado número de vesículas, na sua maioria com forma ovóide e deformadas), no entanto, a análise de *cluster* classifica-as como hidromagmáticas.

Relativamente ao grupo que inclui as amostras SP6 e SP13, constata-se que se encontra bastante distanciado dos outros dois grupos. Este facto está relacionado com as características morfológicas (Anexo VIII) dos clastos que as constituem, que apresenta na sua maioria características que caem no campo da fragmentação hidromagmática, à excepção do parâmetro “estruturas na superfície”.

Os resultados obtidos com esta técnica estatística ficaram aquém das expectativas uma vez que, apesar dos clastos apresentarem características de transição entre os processos magmáticos e os hidromagmáticos, as amostras estão muito afastadas no dendograma. Estes resultados foram testados com outros critérios de agregação/desagregação e os resultados obtidos não são diferentes.

A não obtenção de resultados credíveis, poderá estar relacionada com o pequeno número de amostras estudadas, que pertencem apenas a um corte localizado na *facies* proximal. Deveria ter-se estudado um maior conjunto de amostras, recolhidas em toda a área de estudo e que fossem passíveis de correlacionar com as amostras do corte de referência.

## 4. HISTÓRIA ERUPTIVA

O depósito Sete-P11 resultou de uma erupção complexa, com diversos estilos eruptivos devido a diferentes processos de fragmentação do magma. Apesar dos novos dados recolhidos neste trabalho, a interpretação dos mesmos não permitiu definir com certeza a localização da fonte eruptiva, todavia, foi possível restringi-la à Lagoa de Santiago ou à Lagoa Verde, ambas no interior da caldeira do vulcão central. Num contexto geral, esta erupção terá ocorrido num ambiente em que a água teve um papel importante.

O depósito da erupção encontra-se, em geral, muito bem preservado e domina a quase totalidade dos afloramentos da área de estudo, excepto nas vertentes W e NNW do Vulcão das Sete Cidades.

De modo a tentar clarificar a história eruptiva deste evento vulcânico optou-se por dividir este capítulo em dois subcapítulos que correspondem às duas unidades que caracterizam o depósito. Para reconstruir este processo eruptivo teve-se em consideração os dados estratigráficos, granulométricos e morfológicos.

#### 4.1. UNIDADE 1

A Unidade 1 representa uma fase mais ou menos constante da erupção, em que ocorreu a deposição de lapilli pomítico, alguns líticos e cristais soltos. Nesta unidade é possível distinguir três zonas com características ligeiramente distintas, que nos elucidam sobre os diferentes episódios que ocorreram durante esta fase da erupção. A presença de uma quantidade significativa de cristais soltos nas diversas zonas que constituem esta unidade poderá dever-se à fragmentação dos clastos juvenis durante o processo de transporte.

A análise desta unidade permitiu verificar que a erupção terá começado por apresentar um carácter magmático, demonstrado pela deposição de *lapilli* pomítico sobre a vegetação existente nas vertentes do maciço, conforme o testemunham pedaços de carvão encontrados por Queiroz (1997). Esta primeira fase eruptiva descarta a existência de uma lagoa na fonte eruptiva.

O carácter magmático com intensidades variáveis, que terá envolvido explosões, deu origem a uma zona estratificada, onde se verifica a alternância de níveis de *lapilli* de granulometria diversa na zona inferior desta unidade. Esta actividade terá levado ao alargamento da cratera uma vez que esta zona apresenta grande quantidade de líticos, essencialmente basálticos (s.l.). Estes líticos poderão ter várias origens, tais como: 1) erosão da câmara magmática; 2) erosão da conduta; e 3) fragmentação das rochas contentoras de aquíferos. Esta última hipótese não parece viável pois a água que entrou no sistema nesta fase é pouco significativa.

Entre a zona inferior e a superior desta unidade observa-se uma zona de transição, caracterizada por pedra-pomes e líticos mais grosseiro que a zona anterior poderá indicar que terá havido uma obstrução momentânea da boca eruptiva, ao que se seguiu o aumento da intensidade. Esta zona denominou-se de zona intermédia.

A erupção terá prosseguido com uma intensidade constante, ocorrendo a deposição de lapilli pomítico médio com alguns líticos, formando a denominada zona superior. Esta zona não apresenta uma estratificação nítida. No entanto, no topo da unidade observa-se um pequeno leito riquíssimo em líticos e com lapilli pomítico mais fino que o anterior. Este leito poderá estar relacionado com entrada de água no sistema, o que levou a uma maior fragmentação do magma e, principalmente, das paredes da conduta.

Interessa destacar que a grande quantidade e o tamanho dos líticos (dimensão *lapilli* grosseiro) encontrados em algumas zonas da Unidade 1, na *facies* proximal poderão indicar que tiveram um comportamento balístico.

Relativamente aos aglomerados cimentados de pedra-pomes e cinzas finas, que aparecem em algumas zonas do corte de referência (PL1), poderão ter resultado da agregação do material numa coluna eruptiva com água ou da agregação do material devido à chuva.

No que diz respeito à grande quantidade de partículas aderentes que se encontram na superfície dos clastos juvenis que constituem esta unidade, importa ressaltar que poderão ter tido origem numa coluna eruptiva onde a água está presente na forma de vapor, promovendo deste modo a agregação.

A análise dos dados granulométricos permitiu ainda constatar que o depósito apresenta características de queda, como foi possível verificar através do gráfico  $\sigma\phi$  *versus*  $\phi$ , com os campos de queda e de fluxo definidos por Walker (1971). A pedra-pomes que constitui esta unidade apresenta fracturas de arrefecimento o que seria de esperar num depósito deste tipo.

A existência de alguns leitos bimodais (e.g. SP33, SP43, SP56), nas zonas distais, leva a crer que a fragmentação e o transporte tiveram diferentes dinâmicas (Dellino e La Volpe, 1995), no entanto, no caso da U1, as características granulométricas e morfométricas

apresentadas pelos clastos mostram características de uma fragmentação essencialmente magmática. De facto, em amostras constituídas por uma fracção grosseira e uma fracção fina, esta última poderá ser o resultado da abrasão dos clastos na coluna eruptiva e do processo de queda, que levou à fragmentação dos clastos quando tocaram o solo.

## 4.2. UNIDADE 2

Após a primeira fase da erupção que deu origem à Unidade 1, as condições terão mudado drasticamente. A não existência de descontinuidades (e.g. solo), significativas entre as duas unidades leva a crer que não houve um grande intervalo de tempo aquando da sua deposição.

As mudanças no carácter eruptivo poderão ter estado relacionadas com um aumento da quantidade de água que entrou no sistema, provavelmente, resultante da fragmentação, das rochas contedoras de aquíferos durante a primeira fase da mesma.

Nesta segunda fase da erupção (U2), predomina o carácter hidromagmático, caracterizado por leitos de material mais fino e nalguns casos com *lapilli* de acreção. A fragmentação hidromagmática a que os clastos estiveram sujeitos poderá dever-se a grandes oscilações na quantidade de água que entrou no sistema, dando origem a leitos de material mais fino. No entanto é possível observar que alguns clastos apresentam características de fragmentação magmática. Tais oscilações poderão ter estado na origem de uma coluna eruptiva pulsatória que se terá desenvolvido até às fases finais da actividade eruptiva. Estas oscilações na altura da coluna eruptiva levaram à deposição de leitos alternados de cinzas pomíticas com alguns leitos de *lapilli* pomítico rico em líticos.

Alguns dos níveis desta unidade apresentam características que é importante explicar. Assim, o leito A1 possui granulometria muito fina (diâmetro médio de  $4,27 \phi$ ), onde mais de 77% dos constituintes têm dimensões inferiores a 0,0625mm. Este tipo de leitos puramente hidromagmáticos, já foi reconhecido noutras áreas vulcânicas [e.g. Monte Pilato Rosse-Roche (Dellino e La Volpe, 1995)] e verifica-se que são similares aos resultados obtidos por Zimanowsky *et al.* (1991) nas suas experiências sobre o contacto directo entre a água e o magma. Em A1 observa-se ainda a existência de *lapilli* de acreção anucleado. É de destacar que a sua espessura é mais ou menos constante nos locais onde foi identificado (e.g. PL1, PL22, PL65).

A existência de granulometrias tão finas entre leitos mais grosseiros tem, segundo Walker e Croasdale (1970), várias explicações, mas atendendo às características observadas, o leito A1 é o resultado do contacto água/magma, levando a que a fragmentação seja hidromagmática.

É interessante notar que na Unidade 2 existem leitos de *lapilli* em que os clastos juvenis demonstram resultar de processos de fragmentação magmática (*lapilli* pomítico) e hidromagmática (cinzas pomíticas finas). É o caso dos leitos L1 e L3. Estes dois leitos são constituído por *lapilli* pomítico de queda, ricos em líticos basálticos. Nas observações microscópicas constatou-se que os clastos juvenis que os constituem tanto apresentam características magmáticas como hidromagmáticas, predominando as primeiras.

Existem várias explicações para a ocorrência de leitos com estas características. Estas podem ser interpretadas como resultado de uma curta interrupção do acesso de água à conduta, o que levou ao desenvolvimento de fragmentação magmática. No entanto, os clastos assim formados viriam a depositar-se simultaneamente com as cinzas que deram origem aos leitos que lhes estão imediatamente abaixo, dada a menor velocidade de queda destas, formando-se assim um nível de pedra-pomes com uma importante matriz de cinzas. Esta hipótese é apoiada pelos dados granulométricos, uma vez que as amostras destes leitos são bimodais.

Por outro lado, Dellino e La Volpe (1995) sugerem que estas características podem estar relacionadas com o magma durante o seu período de ascensão na conduta. Assim, estes autores defendem que o magma em ascensão, que se encontra no centro da conduta sem estar em contacto com as paredes da mesma, exsolvem grande quantidade de gases vulcânicos, ocorrendo, deste modo, a fragmentação magmática. Entretanto, o magma que se encontra em contacto com as paredes da conduta interage com a água proveniente dos aquíferos, impedindo a exsolução de gases, dando lugar à fragmentação hidromagmática. Situações semelhantes podem ser observadas em vários depósitos, com por exemplo, no Vesúvio (Barberi *et al.*, 1989) e em Vulcano (Frazzetta *et al.*, 1983).

Em todos os leitos da U2 é possível encontrar, nas granulometrias finas, pedra-pomes arredondada, sendo mais significativa a sua presença no leito L4, sendo esse arredondamento, também, observado nos clastos de maiores dimensões (tamanho *lapilli*). Na análise macroscópica foi possível observar o desgaste nos bordos de alguns clastos. Visto que este nível não apresenta características de fluxo, o arredondamento é interpretado pela abrasão ocorrida entre os clastos durante a fase em que se encontram na coluna eruptiva.

A riqueza dos leitos em líticos, na parte final da erupção, poderá ter resultado da erosão e da remoção de fragmentos de rocha das paredes da conduta devido aos sucessivos impulsos eruptivos, possivelmente provocados pelo reatar da coluna eruptiva.

Os leitos de cinzas (A2, A3, A4, A5 e A6), reconhecidos no corte de referência, apresentam características hidromagmática (desvio padrão entre  $0,17 \phi$  e  $2,30 \phi$ ) de queda. Importa referir que estes leitos não são correlacionados com os leitos de cinzas dos cortes da *facies* distal. Nestes locais (PL3, PL57 e PL65) é possível encontrar leitos de cinzas que apresentam características de fluxo do tipo *surge*. Esta particularidade poderá ter tido origem no colapso parcial da coluna eruptiva.

A erupção terá terminado com o colapso final da coluna eruptiva, dando origem a depósitos do tipo *surge*, no quadrante E e o conseqüente deposição das cinzas pomíticas que se encontravam em suspensão.

Em resultado deste estudo podemos afirmar que as mudanças resultantes nos processos magmático e hidromagmático ocorreram repetidamente durante toda a erupção, sendo algumas vezes em simultâneo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Vulcão das Sete Cidades é um dos três vulcões centrais activos da ilha de S. Miguel (Açores), estando localizado na extremidade W da referida ilha, ladeado pelo oceano Atlântico e pela Região dos Picos.

No que concerne à actividade eruptiva, o Vulcão das Sete Cidades registou 18 erupções nos últimos 5000 anos, sendo a que deu origem ao depósito Sete-P11, uma das mais importantes no referido período de tempo.

O depósito Sete-P11 representa um registo importante na história eruptiva do Vulcão das Sete Cidades nos últimos 5000 anos, estendendo-se desde o maciço vulcânico das Sete Cidades até à zona ocidental da Região dos Picos. Embora não se tenha identificado com certeza a fonte eruptiva aponta-se como hipóteses a Lagoa de Santiago ou a Lagoa Verde.

Distinguem-se duas unidades que representam diferentes períodos da erupção. A Unidade 1 (U1) representa a primeira parte da erupção e apresenta características granulométricas e texturais que indicam tratar-se de um depósito de queda com origem magmática, associado a uma coluna eruptiva do tipo subpliniano ou pliniano. É constituída essencialmente por *lapilli* pomítico e poucos líticos, à excepção da zona intermédia. O facto desta unidade não apresentar estratificação nítida sugere uma coluna eruptiva mais ou menos estável durante a extrusão de todo o material que constitui a unidade, excepção feita durante um pequeno período de tempo, em que terá ocorrido a obstrução da conduta que levou à formação da parte intermédia desta unidade. Apesar do predomínio da pedra-pomes nesta unidade verifica-se que, no seu topo, existe um leito em que o material predominante é os líticos, tamanho *lapilli*. Este facto poderá indicar que ocorreu uma obstrução da conduta, levando a um aumento da pressão no seu interior, provocando uma explosão que deu origem a um leito riquíssimo em líticos, provenientes da fragmentação das paredes da conduta. O

material que constitui esta unidade apresenta dois eixos de dispersão principais, um com a direção NE-SW e outro para SE, o que leva a crer que o vento teve grande importância durante o período de erupção.

O início de U2 marca uma drástica mudança de estilo eruptivo relativamente a U1, traduzido pela abundância de cinzas, presença de *lapilli* de acreção, menor granulometria dos *lapilli* e um aumento na riqueza em líticos. Estes elementos apontam para a predominância da fragmentação hidromagmática. A alternância entre leitos de maior e menor granulometria é indicativo de uma oscilação da eficácia dessa fragmentação em consequência da variação da razão água/magma. No entanto verifica-se que existem leitos em que coexistem ambos os processos de fragmentação, podendo estar relacionados com diferentes processos de fragmentação simultâneos durante a ascensão do magma na conduta. O enriquecimento em líticos dos níveis de *lapilli* resultou, provavelmente, da fragmentação das paredes do aquífero e/ou da erosão das paredes da conduta. A deposição do material que constitui esta unidade foi essencialmente de queda, mas existem alguns leitos, na vertente E do vulcão, que evidenciam transporte por *surge*.

A coluna eruptiva que deu origem a U2 foi menor dimensão que a da U1, visto apresentar uma menor dispersão, sendo constituída, predominantemente, por material muito fragmentado. A estratificação desta unidade sugere ainda uma coluna eruptiva menos estável, caracterizada pela sucessão de diversas explosões. O eixo de dispersão desta unidade é semelhante ao da Unidade 1, o que indica que as condições climáticas se mantiveram estáveis durante o período de tempo em que ocorreu a erupção.

Na realização deste estudo verificou-se a existência de alguns condicionalismos, tais como, a erosão, o coberto vegetal e a ausência de taludes o que dificultaram consideravelmente o estabelecimento de melhores correlações estratigráficas entre os diferentes leitos que constituem o depósito.

Embora com este estudo se tenha contribuído para um melhor conhecimento da história eruptiva do depósito Sete-P11, algumas das questões ficaram ainda por explicar, sendo necessário de futuro, efectuar novos trabalhos de modo a completar a história desta erupção. Assim, propõe-se que:

- no domínio da vulcanoestratigrafia, proceder à recolha de dados estratigráficos que permitam melhorar as correlações estratigráficas encontradas, principalmente na Região dos Picos, tentando estabelecer níveis de referência para essa região. Esta tarefa só é possível, em grande parte, se ocorrer a execução de obras como, por exemplo, a abertura de novas estradas que permitam observar novos cortes;

- tentar recolher mais elementos sobre os parâmetros físicos dos depósitos, de forma a permitir melhorar a caracterização detalhada dos processos associados à fragmentação, transporte e deposição dos produtos desta erupção. A nível granulométrico será necessário fazer a análise de componentes do material fino (entre  $4 \phi$  e  $5 \phi$ ), de modo a saber a sua importância no contexto do depósito. É ainda necessário alargar a caracterização morfométrica a todas as amostras de clastos juvenis pertencentes a leitões que são passíveis de correlacionar com os leitões do corte de referência;

- no domínio da petrografia, importa realizar trabalhos envolvendo os clastos juvenis pertencentes a todos os leitões do corte de referência;

- por último, deverão ser efectuados trabalhos de campo e de laboratório relativamente ao depósito posto em evidência neste estudo e nomeado de Sete-Pb11, de modo a que as suas características físicas, de transporte e deposição sejam conhecidas. No entanto salienta-se que o referido depósito apenas foi encontrado na vertente NW do maciço das Sete Cidades e a maior parte dele terá caído ao mar. O seu foco eruptivo pensa-se que será no interior da caldeira, atendendo aos valores de espessura dos cortes efectuados nesse quadrante. É um depósito de queda constituído, essencialmente, por lapilli pomítico fino pobre em líticos.

## BIBLIOGRAFIA

- Anuário Sismológico de Portugal (1998). Divisão de Sismologia. Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- BARBERI, F.; CIONI, R.; ROSI, M.; SANTACROCE, R.; SBRANA, A. & VECCI, R. (1989). Magmatic and phreatomagmatic phases in explosive eruptions of Vesuvius as deduced by grain-size and component analysis of the pyroclastic deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 38, p. 287-307.
- BLACKBURN, E.A.; WILSON L.; SPARKS, R.S.J. (1976). Mechanisms and dynamics of stromboli activity. *JL Geol. Soc. Lond., Vol. 132, p. 429-440.*
- BLONG, R.J. (1984). *Volcanic hazards. A sourceboock on the effects of eruptions.* Academic Press, INC. (London) LTD., 424p.
- BOOTH, B.; CROASDALE, R. & WALKER, G.P.L. (1978). *A quantitative study of 5000 years of volcanism of São Miguel, Azores.* p. 277-285.
- BÜTTNER, R., DELLINO, P., LA VOLPE, L., LORENZ, V. & ZIMANOWSKI, B. (2002). Thermohydraulic explosions in phreatomagmatic eruptions as evidenced by the comparison between pyroclasts and products from Molten Fuel Coolant Interaction experiments. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, Nº B11, 2277, **ECV 5** 1-14.
- CAS, R. & WRIGHT, J. (1998). *Volcanic successions. Modern and ancient.* Allen & Unwin, London, 2ª Edição, 485 p.
- CAS, R.A.F. & WRIGHT, J.V. (1987). *Volcanic successions.* Chapman & Hall Ed., London, 528p.
- CHESTER, D. K. (1993) - *Volcanoes and Society.* Edward Arnold, Londres, 351 p.
- DAVIS, J.C. (1986). *Statistics and data analysis in Geology.* John Wiley & Sons, London, 2ª Edição Inc., 646 p.
- DELLINO, P. & LA VOLPE, L. (1995). Fragmentation versus transportation mechanisms in the pyroclastic sequence of Monte Pilato-Rocche Rosse (Lipari, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 64, p. 211-231.

- DELLINO, P. & LA VOLPE, L. (1996). Cluster analysis on ash particles morphology features to discriminate fragmentation dynamics in explosive eruptions. *Acta Vulcanológica*, Vol. 8 (1), p. 31-39.
- DELLINO, P. & LIOTINO, G. (2002). The fractal and multifractal dimension of volcanic ash particles contour: a test study on the utility and volcanological relevance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113, p. 1-18.
- DELLINO, P., ISAIA, R., LA VOLPE, L. & ORSI, G. (2001). Statistical analysis of textural data from complex pyroclastic sequence: implications for fragmentation processes of the Agnano-Monte Spina Tephra (4.1 ka), Phlegraean Fields, southern Italy. *Bulletin of Volcanology*, 63, p. 443-461.
- DINIS, L.M.(2006). Contribuição para a definição da escala vulcanoestratigráfica da ilha de São Miguel (Açores). Tese de mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. 140 p.
- FERREIRA, T.J.L. (2000). *Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos*. Tese de doutoramento no ramo da geologia, especialidade de vulcanologia. Univ. Dos Açores, Dep. Geociências, 248 p.
- FISHER, R. & SCHMINCKE, H.-U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472p.
- FISHER, R.V. (1961). Proposed classification volcaniclastic sediments and rocks. *Bull. Geol. Soc. America*, 72, p. 1409-1414.
- FRANCIS, P.(1993). *Volcanoes*. Oxford University Press, Oxford, 443 p.
- FRAZZETTA, G.; LA VOLPE, G. & SHERIDAN, M.F. (1983). Evaluation of the Fossa cone, vulcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17, p. 329-360.
- HEAD, J.W. & WILSON, L. (1989). Basaltic pyroclastic eruptions: influence of gas-release patterns and volumes fluxes on fountain structures, and the formation of cinder cones, spatter cones, rootless flows, lava ponds and lava flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 37, p. 261-271.
- HEIKEN, G. & WOHLTZ, K. (1985). *Volcanic ash*. University of California Press, Berkeley, 246 p.

- HEIKEN, G. & WOHLTZ, K. (1991). Fragmentation processes in explosive volcanic eruptions. *Sedimentation in Volcanic Setting, SEPM Special Publication*, nº 45, p. 19-26.
- HEIKEN, G. (1972). Morphology and petrography of volcanic ashes. *Bull. Geol. Soc. America*, 83, p. 1961-1988.
- KRAUSE, D.C. & WATKINS N.D. (1970). North Atlantic crustal genesis in the vicinity of the Azores. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 19, p. 261-283.
- LANDIM, P.M.B. (2004). *Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados*. Departamento de Geologia Aplicada. Instituto de Geociências e Ciências Exactas. UNESP, Campus de Rio Claro.
- LAUGHTON, A.S.; WHITMARSH R.B.; RUSBY, J.S.M.; SOMERS, M.L.; REVIE J.; McCARTNEY, B.S.; NAFE, J.E. (1972). A continuous East-West fault on the Azores-Gibraltar ridge. *Nature*, Vol. 237, n.º 5352, 2217-220.
- LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B.(1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the alkalis-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, p. 745-750.
- MACHADO, F. (1959) – Submarine pits of the Azores plateau. *Bull. Volcanol.*, Série II, Tome XXI, p. 109-116.
- MADEIRA, J. & RIBEIRO, A. (1990) – Geodynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics*, 184, p. 405-415.
- 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*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa: 481 p.
- MAROCO, J. (2003). *Análise estatística. Com utilização do SPSS*. 2ª Edição, Edições Sílabo, 508p.
- MOORE, R.B. & RUBIN, M. (1991). Radiocarbon dates for lava flows and pyroclastic deposits on São Miguel, Azores. *Radiocarbon*, Vol.33, n.º 1, p. 151-164.
- MOORE, R.B. (1990). Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. *Bull. Volcanology*, 52, p. 602-614.

- MOORE, R.B. (1991). Geology of the three late quaternary stratovolcanoes of Sao Miguel, Azores. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1900, 46p.
- NEEDHAM, H. & FRANCHETEAU, J. (1974). Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36°48' north. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 22, p. 29-43
- NEWHALL, G. C. & SELF, STEPHEN (1982). The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, nº C2, p. 1231-1238.
- NUNES, J.C.C (1991). *Microsismos e neotectónica. Contribuição para o seu estudo nos Açores*. Tese APCC, Universidade dos Açores, 245p.
- PESTANA, M.H. & GAGEIRO, J.N. (1998). *Análise de dados para Ciências Sociais – A complementaridade do SPSS*. Edições Sílabo, Lda., 478p.
- QUEIROZ, M.G. (1990). *Aspectos Vulcanológicos do maciço das Sete Cidades*. Tese PPCI, Centro de Vulcanologia do I.N.I.C., Universidade dos Açores, 148pp.
- QUEIROZ, M.G. (1997). *Vulcão das Sete Cidade (S. Miguel, Açores). Historia eruptiva e avaliação do Hazard*. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores, 226pp.
- REIS, E. (1993). *Análise de clusters: um método de classificação sem preconceitos*. ISCTE, Grupo de Investigação Estatística e Análise de Dados, 57p.
- REIS, E. (1993). *Análise factorial das componentes principais: um método de reduzir sem perder informação*. Temas em Métodos Quantitativos para Gestão nº 2, ISCTE, Grupo de Investigação Estatística e Análise de Dados, 49p.
- REIS, E. (1997). *Estatística multivariada aplicada*. Edições Sílabo, Lda., 343 p.
- SCHIMD, R. (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic rocks and fragments: recommendation of IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, 9, p. 41-43.
- SEARLE, R. (1980). Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. *Earth and Planetary Science Letters*, 51, p. 415-434.

SIVISA (2001) – **Carta de Sismicidade dos açores, no período de 1980 a 2000.**

SPARKS, R.S.J. (1978). The dynamics of bubble formation and growth in magmas: a review and analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 3, p. 1-37.

UDÍAS, A. (1980) - Seismic stresses in the region Azores-Spain-Western Mediterranean. *Rock Mechanics*, Suppl.9, p. 75-84.

WALKER, P.L. (1971). Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, Vol.79, p. 696-714.

WALKER, P.L. (1973). Explosive volcanic eruption – a new classification scheme. *Geol. Rundsc.* 62, p. 431-446.

WALLENTHEIN, N. (1999). *Estudo da história recente do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard.* Tese de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de vulcanologia. Univ. dos Açores, Dep. Geociências, 266p.

WOHLETZ, K. H. (1983). Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: grain-size, scanning electron microscopy, and experimental results. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17, p. 31-36.

ZBYSZEWSKI, G. (1961) – Étude Géologique de L'Ile de S. Miguel (Açores). *Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal*, Tomo XLV, p. 5-79.

ZIMANOWSKI, B.; WOHLLETZ, K.; DELLINO, P. & BÜTTNER (2003). The volcanic ash problem. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 122, p. 1-5.

ZIMANOWSKI, B; FRÖHLICH, G. & LORENZ, V. (1991). Quantitative experiments on pheatomagmatic explosion. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, p. 341-358.

**PAULA ALEXANDRA SÁ DA SILVA GONÇALVES**

**CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO SETE-P11 (SETE CIDADES, SÃO MIGUEL, AÇORES): IMPLICAÇÕES PARA A HISTÓRIA ERUPTIVA**

**ANEXOS**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
2006**

**ANEXO I-** Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-Pb11

Ref. corte	M	P
A1	603475	4187975
A2	602725	4190825
A3	602975	4189575
A4	603325	4189000
A5	602650	4189000
A6	602300	4188700
A7	602750	4190600
A8	602550	4187925
A9	603100	4187850
A10	603700	41877925
A11	604475	4189475
A12	603950	4189250
A13	603675	4192550
A14	604025	4191675
A15	604575	4192800
A16	602225	4188300
A17	603200	4188900

**ANEXO II-** Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-P11

Ref. corte	M	P
PL1	609225	4189650
PL2	605250	4186250
PL3	603275	4186575
PL4	613600	4191450
PL5	611250	4183975
PL6	611600	4183375
PL7	610025	4183950
PL8	611125	4182250
PL9	607675	4183900
PL10	608400	4183150
PL11	608525	4184475
PL12	604750	4186275
PL13	604725	4187575
PL14	605175	4185650
PL15	612500	4192125
PL16	610825	4191325
PL17	611525	4192750
PL18	611850	4193475
PL19	612600	4189850
PL20	612375	4188725
PL21	605100	4185700
PL22	611475	4184350
PL23	612800	4188200
PL24	612625	4191825
PL25	613225	4189900
PL26	604475	4186550
PL27	609350	4184375
PL28	612375	4191100
PL29	615700	4181400
PL30	612425	4183400
PL31	609875	4183175
PL32	611075	4180950

**ANEXO II-** Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-P11 (continuação).

Ref. corte	M	P
PL33	612250	4180125
PL34	613050	4179625
PL35	615700	4182675
PL36	616225	4184075
PL37	613625	4187300
PL38	614050	4186375
PL39	612750	4182300
PL40	614200	4183900
PL41	613600	4184650
PL42	612400	4184550
PL43	612925	4180750
PL44	609725	4187875
PL45	611350	4186150
PL46	617925	4182975
PL47	603975	4186600
PL48	604400	4186875
PL49	605925	4186150
PL50	603675	4187700
PL51	614200	4187650
PL52	612125	4191275
PL53	607675	4193425
PL54	608000	4193025
PL55	608375	4192725
PL56	613275	4192825
PL57	611725	4191475
PL58	611275	4192100
PL59	605350	4186700
PL60	610600	4191900
PL61	610575	4189750
PL62	611850	4189225
PL63	612925	4184975
PL64	612400	4186200

**ANEXO II-** Coordenadas dos cortes geológicos do depósito Sete-P11 (continuação).

Ref. corte	M	P
PL65	612675	4191225
PL66	611525	4191725

**ANEXO III-** Coordenadas dos locais de amostragem

Ref. amostras	M	P
SP 1-13	609225	4189650
SP 14-16	603275	4186575
SP 17/18	604475	4186550
SP 19-21	614050	4186375
SP 22.1- 22.4	611600	4189700
SP 23 - 29	611725	4191475
SP 30 - 33	612800	4188200
SP 34/35	613625	4187300
SP 36 - 38	611475	4184350
SP 39 - 42	614200	4183900
SP 43/44	607675	4183900
SP 45 - 49	605350	4186700
SP 50 - 52	605250	4186250
SP 53 - 56	613275	4192825

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11**

Amostra: SP1		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-2,72	
Peso total: 1681,0gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,88	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	3,84		3,84		
-4	10,75	4,94	5,81		
-3	29,45	13,26	16,20		
-2	21,13	6,32	14,81		
-1	11,92	3,87	8,00	0,05	
0	8,55	0,96	7,55	0,03	
1	5,76	3,42	2,06	0,27	
2	3,69	2,65	0,55	0,49	
3	2,20	1,60	0,42	0,19	
4	1,37				1,37
5	0,88				0,88
>5	0,46				0,46

Amostra: SP2		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-2,86	
Peso total: 4497,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,18	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,35	0,35			
-4	8,20	6,91	1,29		
-3	37,08	31,32	5,76		
-2	30,19	20,77	9,42		
-1	14,79	11,07	3,72		
0	5,52	4,14	1,25	0,14	
1	2,17	0,90	0,67	0,59	
2	0,47	0,11	0,17	0,19	
3	0,22	0,10	0,07	0,05	
4	0,19				0,19
5	0,32				0,32
>5	0,50				0,50

Amostra: SP2.1		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-2,96	
Peso total: 6145,1gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,63	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	7,07	0,93	6,14		
-4	16,80	3,05	13,75		
-3	25,17	8,45	16,73		
-2	22,89	5,67	17,22		
-1	15,42	4,86	10,55		
0	6,95	2,93	3,90	0,12	
1	2,26	0,90	1,14	0,22	
2	0,92	0,69	0,14	0,10	
3	0,65	0,44	0,12	0,09	
4	0,59				0,59
5	0,61				0,61
>5	0,67				0,67

Amostra: SP2.2		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-3,57	
Peso total: 2529,00gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,47	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	15,32	4,30	11,02		
-4	22,75	11,29	11,46		
-3	27,73	18,13	9,60		
-2	18,86	9,56	9,30		
-1	9,53	3,94	5,59		
0	3,84	1,06	2,59	0,19	
1	0,97	0,31	0,45	0,21	
2	0,24	0,08	0,08	0,19	
3	0,25	0,06	0,05	0,04	
4	0,15				0,15
5	0,22				0,22
>5	0,25				0,25

Amostra: SP2.3		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-2,03	
Peso total: 4537,20gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,69	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,80	0,29	1,51		
-4	7,85	3,69	4,17		
-3	18,49	11,64	6,85		
-2	22,55	13,73	8,81		
-1	21,73	14,03	7,69		
0	16,02	11,09	4,81	0,12	
1	8,12	4,02	3,13	0,97	
2	2,32	0,86	0,93	0,53	
3	0,43	0,20	0,17	0,06	
4	0,20				0,20
5	0,24				0,24
>5	0,25				0,25

Amostra: SP3		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		1,96	
Peso total: 60,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,02	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	1,15	0,15	1,00		
-1	1,39	0,65	0,74		
0	8,42	5,61	2,53	0,28	
1	19,78	16,91	2,08	0,79	
2	19,98	14,92	2,94	2,11	
3	14,92	7,74	6,44	0,74	
4	12,50				12,50
5	19,41				19,41
>5	2,46				2,46

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP4		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-1,92	
Peso total: 1065,40gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,99	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	12,82	10,00	2,81		
-3	13,67	8,39	5,28		
-2	22,09	12,56	9,53		
-1	18,26	8,74	9,47	0,06	
0	15,41	5,57	8,44	1,40	
1	8,26	1,43	3,98	2,85	
2	3,41	1,03	1,65	0,72	
3	1,77	0,69	2,08	0,24	
4	1,94				1,94
5	2,27				2,27
>5	0,09				0,09

Amostra: SP5		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		1,22	
Peso total: 276,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,58	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	7,18	2,02	5,17		
-1	11,66	6,12	5,55		
0	12,76	8,05	4,54	0,17	
1	15,22	11,80	2,16	1,26	
2	14,29	9,16	3,48	1,65	
3	12,83	6,90	5,44	0,49	
4	11,03				11,03
5	14,30				14,30
>5	0,71				0,71

Amostra: SP6		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-0,73	
Peso total: 493,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,68	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	23,36	11,20	12,16		
-1	20,78	9,81	10,91	0,05	
0	22,09	7,23	14,21	0,66	
1	17,45	6,23	8,86	2,36	
2	8,92	3,85	4,08	0,99	
3	3,73	2,04	1,22	0,47	
4	2,01				2,01
5	1,44				1,44
>5	0,22				0,22

Amostra: SP7		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		2,30	
Peso total: 132,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,73	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	0,09	0,09			
-1	1,41	0,44	0,96	0,01	
0	5,04	2,12	2,64	0,28	
1	13,81	9,10	4,10	0,61	
2	22,79	13,90	6,60	2,28	
3	22,58	12,78	7,04	2,76	
4	15,53				15,53
5	18,25				18,25
>5	0,49				0,49

Amostra: SP8		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-1,81	
Peso total: 1703,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,50	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	4,03	2,01	2,02		
-3	15,73	9,12	6,60		
-2	25,35	9,36	15,99		
-1	26,22	9,96	16,21	0,05	
0	16,60	3,86	11,52	1,22	
1	7,46	1,93	3,73	1,80	
2	2,23	0,82	0,98	0,43	
3	0,88	0,40	0,34	0,14	
4	0,85				0,85
5	0,62				0,62
>5	0,04				0,04

Amostra: SP9		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		1,75	
Peso total: 637,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,76	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	1,24	0,88	0,35		
-1	3,36	1,69	1,66	0,01	
0	8,04	4,24	3,39	0,41	
1	18,21	4,09	7,74	6,38	
2	25,67	9,68	10,98	5,01	
3	18,48	7,80	8,16	2,52	
4	12,89				12,89
5	11,48				11,48
>5	0,63				0,63

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP10		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-1,24	
Peso total: 1429,00gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,43	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,31	0,19	0,12		
-2	26,48	13,61	12,88		
-1	30,46	14,91	15,50	0,05	
0	21,66	10,74	9,78	1,14	
1	11,49	5,40	4,03	2,06	
2	5,19	2,68	1,76	0,75	
3	2,22	1,08	0,76	0,38	
4	1,23				1,23
5	0,86				0,86
>5	0,10				0,10

Amostra: SP11		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		0,17	
Peso total: 1144,6gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,77	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,57		0,57		
-3	0,97	0,32	0,66		
-2	5,08	1,62	3,46		
-1	15,79	6,85	8,94		
0	23,81	7,52	15,13	1,16	
1	21,59	5,64	10,02	5,93	
2	15,07	5,12	7,95	1,99	
3	8,72	3,64	4,05	1,03	
4	4,99				4,99
5	2,87				2,87
>5	0,55				0,55

Amostra: SP12		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		-1,63	
Peso total: 4323,30gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,56	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,02		1,02		
-4	3,14	0,48	2,66		
-3	12,79	5,11	7,69		
-2	23,07	8,70	14,37		
-1	26,68	8,81	17,86		
0	16,86	4,71	11,35	0,81	
1	8,59	3,06	4,45	1,07	
2	3,64	1,46	1,70	0,48	
3	1,82	0,79	0,82	0,20	
4	1,18				1,18
5	0,90				0,90
>5	0,32				0,32

Amostra: SP13		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL1		Diâmetro médio (Md)		4,27	
Peso total: 98,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,41	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	1,04	0,45	0,59		
-1	1,61	0,75	0,86		
0	2,94	1,51	1,34	0,09	
1	3,61	2,32	0,88	0,41	
2	5,42	3,11	1,87	0,44	
3	7,62	4,02	3,04	0,56	
4	20,68				20,68
5	26,07				26,07
>5	31,01				31,01

Amostra: SP14		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL3		Diâmetro médio (Md)		-0,62	
Peso total: 8940,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,5	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,25	0,25			
-4	2,58	2,58			
-3	10,39	9,80	0,59		
-2	13,64	11,41	2,22		
-1	17,19	13,27	3,92		
0	15,68	12,22	3,26	0,21	
1	8,57	5,81	2,71	0,59	
2	3,27	2,12	0,61	0,54	
3	2,91	1,90	0,34	0,34	
4	6,10				6,10
5	17,50				17,50
>5	1,92				1,92

Amostra: SP15		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL3		Diâmetro médio (Md)		-1,51	
Peso total: 5740,90gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,08	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,22	1,22			
-4	8,21	7,71	0,49		
-3	14,62	12,73	1,89		
-2	16,46	12,41	4,05		
-1	19,29	14,91	4,38		
0	17,89	11,48	5,99	0,43	
1	10,34	7,74	2,37	0,23	
2	3,90	2,20	0,97	0,73	
3	1,87	1,13	0,52	0,22	
4	1,98				1,98
5	3,25				3,25
>5	0,96				0,96

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP16		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL3		Diâmetro médio (Md)		-1,03	
Peso total: 1747,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,58	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,01	1,01			
-3	9,10	8,70	0,40		
-2	16,46	14,32	2,14		
-1	24,22	22,28	1,94		
0	24,89	17,83	6,81	0,25	
1	15,81	6,68	5,98	3,15	
2	4,81	2,40	1,30	1,10	
3	1,57	0,54	0,77	0,26	
4	1,57				1,57
5	0,46				0,46
>5	0,10				0,10

Amostra: SP17		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL26		Diâmetro médio (Md)		-2,50	
Peso total: 8134,80		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,05	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	1,59	1,59			
-5	4,03	4,03			
-4	13,66	12,44	1,22		
-3	22,06	18,51	3,54		
-2	17,30	11,56	5,74		
-1	15,54	10,52	5,02		
0	11,50	3,92	6,89	0,69	
1	6,48	3,32	2,34	0,83	
2	3,09	1,50	0,84	0,75	
3	1,52	0,73	0,40	0,39	
4	1,26				1,26
5	1,37				1,37
>5	0,61				0,61

Amostra: SP18		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL26		Diâmetro médio (Md)		-0,82	
Peso total: 1639,30gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,56	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,23	1,23			
-3	7,19	6,82	0,37		
-2	14,49	12,83	1,66		
-1	22,35	20,66	1,69		
0	26,82	19,09	6,84	0,88	
1	18,78	8,55	7,21	3,02	
2	6,23	4,85	1,13	0,26	
3	0,92	0,55	0,30	0,08	
4	0,76				0,76
5	0,86				0,86
>5	0,37				0,37

Amostra: SP19		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL38		Diâmetro médio (Md)		-0,15	
Peso total: 117,00		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,21	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	3,01	3,01			
-2	8,51	6,92	1,60		
-1	15,87	10,49	5,38		
0	26,46	17,85	7,74	0,86	
1	19,66	13,14	5,93	0,58	
2	7,37	5,09	1,49	0,79	
3	4,42	3,03	0,70	0,69	
4	5,01				5,01
5	6,44				6,44
>5	3,24				3,24

Amostra: SP20		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL38		Diâmetro médio (Md)		-1,53	
Peso total: 1995,40gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,04	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	4,44	4,44			
-3	17,00	16,67	0,33		
-2	19,70	17,55	2,14		
-1	18,92	17,72	1,21		
0	15,79	11,59	3,70	0,50	
1	10,65	8,41	1,93	0,31	
2	4,69	2,11	1,76	0,83	
3	2,03	1,32	0,46	0,25	
4	2,47				2,47
5	3,57				3,57
>5	0,73				0,73

Amostra: SP21		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL38		Diâmetro médio (Md)		-0,14	
Peso total: 445,79gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,67	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,01	0,78	1,23		
-3	4,14	4,14			
-2	8,31	7,75	0,55		
-1	15,06	12,68	2,38		
0	23,73	21,20	2,54		
1	24,34	22,05	1,49	0,80	
2	14,70	11,76	1,15	1,79	
3	3,94	2,62	0,79	0,53	
4	1,67				1,67
5	1,68				1,68
>5	0,42				0,42

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP22.1		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL61		Diâmetro médio (Md)		-2,41	
Peso total: 1016,10gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,34	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	3,96	3,96			
-3	27,88	23,77	4,11		
-2	30,57	18,44	12,12		
-1	20,54	8,10	12,44		
0	9,63	3,39	5,75	0,49	
1	2,75	1,35	1,06	0,34	
2	0,88				0,88
3	0,63				0,63
4	0,83				0,83
5	1,24				1,24
>5	1,10				1,10

Amostra: SP22.2		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL61		Diâmetro médio (Md)		-2,26	
Peso total: 5970,50gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,40	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,25	0,25			
-4	5,13	4,73	0,40		
-3	23,28	21,19	2,09		
-2	28,99	24,54	4,45		
-1	23,23	17,67	5,56		
0	11,99	5,85	5,15	0,99	
1	3,60	0,94	1,55	1,11	
2	0,81				0,81
3	0,53				0,53
4	0,53				0,53
5	0,93				0,93
>5	0,73				0,73

Amostra: SP22.3		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL61		Diâmetro médio (Md)		-2,35	
Peso total: 7669,60		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,45	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,13	0,13			
-4	5,62	5,35	0,27		
-3	23,58	21,29	2,29		
-2	31,70	28,27	3,44		
-1	19,36	16,28	3,08		
0	10,65	6,00	4,22	0,44	
1	5,27	2,25	2,16	0,85	
2	1,23				1,23
3	0,52				0,52
4	0,50				0,50
5	0,73				0,73
>5	0,69				0,69

Amostra: SP22.4		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL61		Diâmetro médio (Md)		-1,91	
Peso total: 6675,60gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,70	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,35	0,35			
-4	5,62	5,03	0,59		
-3	21,89	19,02	2,87		
-2	20,31	16,36	3,96		
-1	21,46	12,92	8,51	0,03	
0	16,74	7,79	8,37	0,58	
1	8,70	3,62	4,19	0,89	
2	2,68				2,68
3	0,61				0,61
4	0,44				0,44
5	0,72				0,72
>5	0,48				0,48

Amostra: SP23		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		3,03	
Peso total: 1408,9gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,08	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,38	0,38			
-2	1,45	1,15	0,29		
-1	2,44	1,91	0,52		
0	6,52	4,95	1,31	0,26	
1	12,86	10,24	2,33	0,30	
2	13,10	9,97	2,52	0,60	
3	12,82	8,76	3,24	0,81	
4	15,09				15,09
5	34,24				34,24
>5	1,12				1,12

Amostra: SP24		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		0,01	
Peso total: 833,10gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,81	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,04	1,04			
-4	9,60	9,60			
-3	9,72	9,72			
-2	7,56	5,38	2,19		
-1	10,77	5,16	5,61		
0	11,25	6,69	4,38	0,19	
1	9,95	6,24	3,03	0,68	
2	5,75	4,21	3,03	0,68	5,75
3	4,32	3,35	0,97		
4	11,11				11,11
5	17,87				17,87
>5	1,05				1,05

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP25		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		3,34	
Peso total: 572,80gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,89	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,09	2,09			
-3	3,17	2,57	0,60		
-2	4,71	3,50	1,20		
-1	7,31	4,29	3,02		
0	8,98	5,67	3,20	0,11	
1	7,44	5,67	1,57	0,19	
2	5,47	3,46	1,15	0,86	
3	5,13	3,16	1,10	0,86	
4	16,97				16,97
5	37,89				37,89
>5	0,85				0,85

Amostra: SP26		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		-0,39	
Peso total: 1602,00gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,21	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,44	1,12	0,32		
-3	5,81	4,88	0,93		
-2	11,73	7,80	3,93		
-1	19,20	17,54	1,65		
0	19,40	10,47	8,75	0,18	
1	10,90	6,76	3,59	0,54	
2	4,60	2,86	1,49	0,26	
3	3,49	2,45	0,78	0,25	
4	5,23				5,23
5	13,15				13,15
>5	5,07				5,07

Amostra: SP27		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		2,68	
Peso total: 987,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,32	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,49	2,49			
-3	4,64	3,98	0,66		
-2	7,88	5,06	2,81		
-1	9,70	5,62	4,07		
0	10,07	6,85	3,06	0,16	
1	6,56	4,31	1,89	0,36	
2	4,97	3,17	1,43	0,37	
3	5,43	3,37	1,63	0,43	
4	12,07				12,07
5	27,46				27,46
>5	8,74				8,74

Amostra: SP28		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		-0,98	
Peso total: 1331,80gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,64	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,08	1,08			
-3	8,50	8,50			
-2	16,31	15,37	0,94		
-1	23,63	18,72	4,90		
0	24,33	20,52	2,82	0,99	
1	15,14	11,40	2,86	0,88	
2	3,94	2,76	0,82	0,36	
3	1,21	0,93	1,17	0,12	
4	1,81				1,81
5	3,25				3,25
>5	0,79				0,79

Amostra: SP29		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL57		Diâmetro médio (Md)		1,81	
Peso total: 4608,60gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,09	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,24	0,24			
-4	2,28	2,28			
-3	5,79	5,23	0,56		
-2	6,45	4,42	2,02		
-1	9,49	6,03	3,46		
0	10,15	6,37	3,59	0,18	
1	9,76	6,81	2,54	0,41	
2	7,22				7,22
3	7,39				7,39
4	18,36				18,36
5	21,44				21,44
>5	1,44				1,44

Amostra: SP30		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL23		Diâmetro médio (Md)		1,51	
Peso total: 803,50gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,76	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,31	1,31			
-3	2,52	2,52			
-2	4,49	3,91	0,58		
-1	8,27	6,55	1,73		
0	10,21	7,68	2,47	0,05	
1	15,80	13,28	2,15	0,37	
2	14,54	10,95	2,37	1,21	
3	10,36	6,61	2,66	1,09	
4	9,49				9,49
5	15,71				15,71
>5	7,30				7,30

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP31		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL23		Diâmetro médio (Md)		-1,50	
Peso total: 11028,7gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,69	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,24	0,24			
-4	5,43	5,31	0,12		
-3	14,88	12,15	2,73		
-2	17,23	9,73	7,50		
-1	24,23	10,98	13,21	0,03	
0	21,28	7,92	12,89	0,47	
1	8,72	2,10	5,14	1,48	
2	2,27	0,84	0,89	0,54	
3	1,22	0,71	0,32	0,19	
4	1,25				1,25
5	1,68				1,68
>5	1,58				1,58

Amostra: SP32		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL23		Diâmetro médio (Md)		-2,57	
Peso total: 2265,30gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,32	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,57	0,57			
-4	8,37	8,37			
-3	28,30	26,39	1,91		
-2	29,62	21,79	7,82		
-1	19,34	8,98	10,34	0,01	
0	8,48	3,05	5,00	0,44	
1	2,52	0,80	1,22	0,51	
2	0,62	0,16	0,27	0,19	
3	0,39	0,14	0,16	0,10	
4	0,49				0,49
5	0,80				0,80
>5	0,51				0,51

Amostra: SP33		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL23		Diâmetro médio (Md)		-1,28	
Peso total: 6691,60gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,90	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	3,26	3,26			
-3	13,38	12,72	0,66		
-2	20,55	17,86	2,69		
-1	19,14	14,60	4,54		
0	17,67	11,98	5,45	0,24	
1	14,14	12,17	1,61	0,35	
2	6,44	5,54	0,69	0,21	
3	1,53	1,24	0,19	0,09	
4	1,16				1,16
5	1,75				1,75
>5	0,99				0,99

Amostra: SP34		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL37		Diâmetro médio (Md)		-1,36	
Peso total: 4813,30gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,55	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,14	2,14			
-3	11,05	10,29	0,76		
-2	20,45	16,36	4,08		
-1	25,58	17,70	7,89		
0	22,32	10,34	11,19	0,80	
1	10,06	6,14	3,10	0,81	
2	2,29				2,29
3	1,23				1,23
4	1,51				1,51
5	2,28				2,28
>5	1,08				1,08

Amostra: SP35		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL37		Diâmetro médio (Md)		-0,42	
Peso total: 3393,30gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,62	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,62	0,62			
-3	5,67	5,39	0,28		
-2	12,23	10,96	1,27		
-1	17,94	15,32	2,63		
0	23,54	19,99	3,01	0,54	
1	23,62	20,22	3,07	0,34	
2	11,30				11,30
3	1,84				1,84
4	0,91				0,91
5	1,32				1,32
>5	1,00				1,00

Amostra: SP36		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL22		Diâmetro médio (Md)		3,08	
Peso total: 844,80gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,65	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,84	0,84			
-3	0,24	0,15	0,08		
-2	4,26	3,41	0,85		
-1	5,75	4,00	1,73	0,02	
0	10,24	8,10	2,02	0,12	
1	11,09	7,11	3,31	0,68	
2	8,14	4,57	2,46	1,11	
3	8,67	4,88	2,50	1,29	
4	9,58				9,58
5	32,16				32,16
>5	9,01				9,01

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP37		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL22		Diâmetro médio (Md)		-1,24	
Peso total: 664,40gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,90	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,54	2,54			
-3	14,66	14,24	0,42		
-2	15,73	13,35	2,38		
-1	22,33	16,95	5,38		
0	22,07	12,03	9,77	0,27	
1	9,38	4,39	3,85	1,14	
2	1,77	1,05	0,59	0,13	
3	1,31	0,67	0,51	0,14	
4	2,04				2,04
5	4,18				4,18
>5	3,98				3,98

Amostra: SP38		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL22		Diâmetro médio (Md)		-1,38	
Peso total: 5927,50gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,63	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,13	0,13			
-4	2,59	2,59			
-3	12,47	11,50	0,97		
-2	20,36	15,60	4,76		
-1	23,47	18,50	4,97		
0	21,00	18,12	2,88		
1	13,16	8,73	3,43	0,99	
2	4,31	3,27	0,69	0,35	
3	0,93	0,56	0,22	0,15	
4	0,53				0,53
5	0,62				0,62
>5	0,44				0,44

Amostra: SP39		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL40		Diâmetro médio (Md)		2,79	
Peso total: 805,00		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,62	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,38	0,38			
-2	2,94	2,51	0,43		
-1	6,87	5,55	1,32		
0	10,68	6,81	3,77	0,11	
1	9,12	6,87	2,03	0,22	
2	11,11	8,17	2,51	0,43	
3	11,24	7,48	2,54	1,22	
4	9,32				9,32
5	28,21				28,21
>5	10,14				10,14

Amostra: SP40		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL40		Diâmetro médio (Md)		-1,61	
Peso total: 1850,00		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,67	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,68	2,68			
-3	16,65	16,36	0,29		
-2	21,64	19,75	1,89		
-1	23,23	19,34	3,89		
0	18,24	14,20	3,67	0,37	
1	10,67	5,92	3,55	1,21	
2	3,03	1,74	0,78	0,52	
3	0,85	0,43	0,26	0,15	
4	0,88				0,88
5	1,00				1,00
>5	1,14				1,14

Amostra: SP41		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL40		Diâmetro médio (Md)		-0,81	
Peso total: 1443,40gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,84	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,37	2,37			
-3	10,06	9,66	0,41		
-2	14,27	12,35	1,91		
-1	19,55	15,81	3,74		
0	20,22	17,56	2,66		
1	18,66	15,49	2,58	0,59	
2	9,17	3,28	4,56	1,33	
3	1,75	1,00	0,61	0,14	
4	0,94				0,94
5	0,94				0,94
>5	2,07				2,07

Amostra: SP42		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL40		Diâmetro médio (Md)		-1,58	
Peso total: 861,20		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,85	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,98	0,98			
-4	4,51	4,51			
-3	16,09	14,45	1,64		
-2	18,72	15,33	3,39		
-1	21,83	18,25	3,58		
0	17,50	15,76	1,75		
1	12,50	10,99	1,28	0,24	
2	4,20	2,78	1,15	0,27	
3	1,06	0,50	0,36	0,20	
4	0,78				0,78
5	0,82				0,82
>5	1,02				1,02

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP43		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL9		Diâmetro médio (Md)		-1,04	
Peso total: 6256,80gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		2,02	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,28	0,28			
-4	3,24	3,24			
-3	12,12	11,59	0,53		
-2	15,40	12,63	2,77		
-1	19,81	15,40	4,42		
0	18,90	16,58	2,32		
1	13,81	11,68	1,68	0,45	
2	6,03	4,07	1,37	0,59	
3	3,16	2,01	0,79	0,36	
4	2,05				2,05
5	2,66				2,66
>5	2,53				2,53

Amostra: SP44		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL44		Diâmetro médio (Md)		-2,48	
Peso total: 7809,60gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,49	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,64	0,64			
-4	7,77	7,59	0,18		
-3	26,33	25,87	0,46		
-2	29,36	27,26	2,10		
-1	17,42	13,97	3,45		
0	9,40	6,94	2,47		
1	4,59	1,71	1,77	1,11	
2	1,18	0,73	0,25	0,19	
3	0,77	0,55	0,12	0,10	
4	0,56				0,56
5	0,77				0,77
>5	1,22				1,22

Amostra: SP45		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL59		Diâmetro médio (Md)		-1,99	
Peso total: 4669,40gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,80	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,93	1,93			
-4	8,18	7,56	0,62		
-3	18,46	16,95	1,51		
-2	21,20	17,24	3,96		
-1	20,09	15,47	4,62		
0	15,27	8,68	5,95	0,64	
1	7,65	5,11	1,92	0,62	
2	2,81				2,81
3	1,36				1,36
4	1,19				1,19
5	0,91				0,91
>5	0,94				0,94

Amostra: SP46		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL59		Diâmetro médio (Md)		-0,86	
Peso total: 3779,80gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,45	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,32	0,32			
-4	1,03	1,03			
-3	5,44	5,36	0,08		
-2	14,43	13,36	1,07		
-1	24,94	23,29	1,65		
0	27,72	22,43	5,29		
1	18,92	15,75	2,55	0,62	
2	5,05	3,29	1,05	0,71	
3	0,61				0,61
4	0,26				0,26
5	0,48				0,48
>5	0,79				0,79

Amostra: SP47		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL59		Diâmetro médio (Md)		-1,67	
Peso total: 6973,50gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,67	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,13	0,13			
-4	4,70	4,44	0,26		
-3	16,32	15,25	1,06		
-2	21,49	16,88	4,61		
-1	22,24	17,28	4,96		
0	18,82	12,14	6,64	0,04	
1	10,40	5,05	4,05	1,30	
2	2,90				2,90
3	1,04				1,04
4	0,71				0,71
5	0,63				0,63
>5	0,62				0,62

Amostra: SP48		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL59		Diâmetro médio (Md)		-1,41	
Peso total: 8555,20gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,93	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	5,51	5,34	0,17		
-3	15,15	13,09	2,06		
-2	16,36	12,29	4,07		
-1	22,14	14,54	7,61		
0	18,58	10,53	7,29	0,76	
1	11,12	7,72	2,29	1,12	
2	4,66				4,66
3	2,20				2,20
4	1,54				1,54
5	1,33				1,33
>5	1,40				1,40

ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)

Amostra: SP49		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL59		Diâmetro médio (Md)		-0,86	
Peso total: 265,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,46	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	6,59	6,32	0,27		
-2	13,41	9,84	3,56		
-1	26,00	19,85	6,14		
0	28,43	21,56	6,70	0,17	
1	15,49	11,14	3,84	0,51	
2	4,38				4,38
3	1,93				1,93
4	1,35				1,35
5	0,22				0,22
>5	2,21				2,21

Amostra: SP50		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL2		Diâmetro médio (Md)		-1,96	
Peso total: 1287,20gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,85	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	1,13	1,13			
-4	5,89	5,89			
-3	22,00	20,56	1,44		
-2	20,30	18,42	1,88		
-1	19,04	14,68	4,37		
0	14,62	11,10	3,39	0,14	
1	8,85	4,93	2,24	1,68	
2	3,07				3,07
3	1,25				1,25
4	1,26				1,26
5	1,35				1,35
>5	1,24				1,24

Amostra: SP51		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL2		Diâmetro médio (Md)		-0,68	
Peso total: 231,70gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,26	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	3,60	3,31	0,29		
-2	10,51	7,90	2,61		
-1	24,69	15,39	9,29		
0	34,68	18,43	15,91	0,34	
1	17,78	8,32	8,35	1,12	
2	3,37				3,37
3	1,48				1,48
4	1,03				1,03
5	1,01				1,01
>5	1,86				1,86

Amostra: SP52		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL2		Diâmetro médio (Md)		-1,89	
Peso total: 4881,00gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,66	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	7,09	7,09			
-3	19,68	18,93	0,74		
-2	20,81	17,13	3,68		
-1	22,12	16,71	5,41		
0	18,41	11,88	6,43	0,10	
1	8,87	6,44	1,84	0,59	
2	1,96				1,96
3	0,42				0,42
4	0,21				0,21
5	0,18				0,18
>5	0,26				0,26

Amostra: SP53		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL65		Diâmetro médio (Md)		3,35	
Peso total: 2638,20gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,66	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	0,71	0,62	0,09		
-1	1,41	1,00	0,41	0,01	
0	2,75	1,89	0,82	0,05	
1	5,70	3,82	1,58	0,30	
2	15,00	9,67	4,35	0,98	
3	18,08	10,47	5,63	1,98	
4	17,96				17,96
5	32,98				32,98
>5	5,41				5,41

Amostra: SP54		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL65		Diâmetro médio (Md)		0,52	
Peso total: 4464,00gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		3,43	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	2,37	2,16	0,21		
-3	7,67	5,91	1,75		
-2	10,11	6,67	3,45		
-1	13,49	8,04	5,45		
0	12,25	8,32	3,92	0,02	
1	7,95	4,22	2,94	0,80	
2	4,93	2,76	1,51	0,67	
3	5,34	2,81	1,80	0,73	
4	10,44				10,44
5	21,05				21,05
>5	4,40				4,40

**ANEXO IV – Análises granulométricas das amostras do depósito Sete-P11 (cont.)**

Amostra: SP55		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL65		Diâmetro médio (Md)		4,02	
Peso total: 724,60gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,78	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	0,00				
-3	0,00				
-2	1,56	1,47	0,09		
-1	3,56	2,72	0,84		
0	4,52	2,61	1,85	0,06	
1	4,63	3,58	0,87	0,19	
2	7,50	5,49	1,15	0,86	
3	10,02	6,10	2,74	1,18	
4	17,55				17,55
5	43,66				43,66
>5	7,00				7,00

Amostra: SP56		Parâmetros de Inman (1952)			
Corte: PL65		Diâmetro médio (Md)		-1,41	
Peso total: 2773,10gr		Desvio padrão gráfico ( $\sigma\phi$ )		1,57	
phi	Total	PP	Lit	Crist	N.Sep.
-6	0,00				
-5	0,00				
-4	1,43	1,43			
-3	14,09	14,09			
-2	19,59	18,46	1,12		
-1	25,41	21,70	3,70		
0	21,65	21,43	0,22		
1	11,23	10,04	0,96	0,23	
2	2,47	1,36	0,76	0,35	
3	0,92	0,68	0,17	0,06	
4	0,87				0,87
5	1,55				1,55
>5	0,80				0,80

**ANEXO V - Dados da análise de componentes principais**

**Dados iniciais**

Amostra	-5 phi	-4phi	-3 phi	-2 phi	-1 phi	0 phi	1 phi	2 phi	3 phi
SP1	0.00	13.35	35.81	17.06	10.46	2.60	9.25	7.17	4.31
SP2	0.46	9.13	41.38	27.45	14.63	5.47	1.19	0.15	0.14
SP2.1	3.30	10.94	30.25	20.30	17.41	10.51	3.21	2.47	1.56
SP2.2	8.82	23.17	37.20	19.61	8.09	2.17	0.64	0.17	0.13
SP2.3	0.49	6.19	19.55	23.06	23.57	18.62	6.75	1.44	0.33
SP3	0.00	0.00	0.00	0.35	1.53	13.22	39.87	26.77	18.26
SP4	0.00	20.66	17.32	25.95	18.04	11.50	2.96	2.14	1.44
SP5	0.00	0.00	0.00	4.58	13.89	18.27	26.79	20.80	15.67
SP6	0.00	0.00	0.00	27.75	24.32	17.91	15.43	9.55	5.05
SP7	0.00	0.00	0.00	0.24	1.13	5.53	23.68	36.17	33.25
SP8	0.00	5.37	24.35	24.99	26.59	10.30	5.15	2.18	1.07
SP9	0.00	0.00	0.00	3.11	5.95	14.93	14.42	34.10	27.49
SP10	0.00	0.00	0.39	28.00	30.68	22.09	11.11	5.51	2.22
SP11	0.00	0.00	1.03	5.28	22.31	24.49	18.37	16.68	11.84
SP12	0.00	1.44	15.42	26.27	26.61	14.21	9.25	4.41	2.39
SP13	0.00	0.00	0.00	3.67	6.19	12.41	19.08	25.58	33.08
SP14	0.43	4.34	16.50	19.23	22.36	20.58	9.79	3.57	3.20
SP15	1.17	10.78	17.80	17.35	20.85	16.04	10.82	3.07	1.58
SP16	0.00	1.37	11.79	19.41	30.20	24.16	9.06	3.26	0.74
SP17	5.92	18.27	27.17	16.97	15.44	5.75	4.87	2.20	1.08
SP18	0.00	1.65	9.15	17.20	27.70	25.60	11.47	6.50	0.73
SP19	0.00	0.00	5.06	11.62	17.62	29.99	22.08	8.55	5.09
SP20	0.00	5.49	20.61	21.71	21.91	14.33	10.40	3.92	1.64
SP21	0.00	0.94	4.99	9.34	15.28	25.54	26.57	14.17	3.16
SP23	0.00	0.00	1.01	3.09	5.12	13.23	27.40	26.68	23.45
SP24	2.01	18.68	18.92	10.47	10.05	13.02	12.14	8.19	6.52
SP25	0.00	6.87	8.44	11.52	14.10	18.65	18.65	11.37	10.40
SP26	0.00	2.08	9.05	14.47	32.56	19.43	12.55	5.30	4.56
SP27	0.00	7.13	11.42	14.53	16.13	19.65	12.37	9.10	9.67
SP28	0.00	1.37	10.73	19.39	23.61	25.88	14.37	3.49	1.17
SP30	0.00	2.48	4.78	7.40	12.40	14.55	25.14	20.74	12.52
SP31	0.48	10.61	24.31	19.47	21.98	15.85	4.20	1.68	1.41
SP32	0.81	11.92	37.57	31.02	12.79	4.34	1.13	0.23	0.20
SP33	0.00	4.10	16.02	22.49	18.40	15.10	15.34	6.98	1.57
SP36	0.00	2.55	0.47	10.32	12.10	24.49	21.49	13.83	14.76
SP37	0.00	3.89	21.83	20.47	25.99	18.45	6.73	1.61	1.02
SP38	0.17	3.28	14.56	19.74	23.42	22.94	11.05	4.14	0.71
SP39	0.00	0.00	0.99	6.65	14.69	18.04	18.19	21.64	19.80
SP40	0.00	3.34	20.35	24.56	24.06	17.65	7.36	2.16	0.54

**ANEXO V - Dados da análise de componentes principais (cont.)**

**Dados iniciais (cont.)**

Amostra	-5 phi	-4phi	-3 phi	-2 phi	-1 phi	0 phi	1 phi	2 phi	3 phi
SP41	0.00	2.91	11.85	15.16	19.41	21.55	19.01	8.87	1.23
SP42	1.17	5.40	17.30	18.35	21.84	18.86	13.15	3.33	0.60
SP43	0.36	4.18	14.96	16.30	19.87	21.40	15.08	5.25	2.59
SP44	0.75	8.91	30.34	31.97	16.38	8.14	2.00	0.86	0.65
SP53	0.00	0.00	0.00	2.27	3.64	6.87	13.89	35.21	38.11
SP54	0.00	5.27	14.47	16.31	19.67	20.34	10.32	6.74	6.88
SP55	0.00	0.00	0.00	6.67	12.39	11.89	16.30	24.99	27.76
SP56	0.00	1.61	15.80	20.70	24.33	24.03	11.25	1.52	0.77

**Matriz de correlação**

phi	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
-5	1,000	0,691	0,485	0,129	-0,177	-0,443	-0,384	-0,276	-0,225
-4	0,691	1,000	0,747	0,392	-0,102	-0,541	-0,619	-0,517	-0,435
-3	0,485	0,747	1,000	0,683	0,163	-0,495	-0,788	-0,737	-0,657
-2	0,129	0,392	0,683	1,000	0,637	-0,072	-0,771	-0,868	-0,813
-1	-0,177	-0,102	0,163	0,637	1,000	0,539	-0,419	-0,701	-0,707
0	-0,443	-0,541	-0,495	-0,072	0,539	1,000	0,335	-0,113	-0,210
1	-0,384	-0,619	-0,788	-0,771	-0,419	0,335	1,000	0,710	0,554
2	-0,276	-0,517	-0,737	-0,868	-0,701	-0,113	0,710	1,000	0,952
3	-0,25	-0,435	-0,657	-0,813	-0,707	-0,210	0,554	0,952	1,000

Determinante = 3,572E-008

**ANEXO V - Dados da análise de componentes principais (cont.)**

**Variância total explicada resultante da extracção através da análise de componentes principais**

Componentes principal (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% variância	% acumulada	Total	% variância	% acumulada	Total	% variância	% acumulada
1	4,941	54,903	54,903	4,941	54,903	54,903	4,359	48,432	48,432
2	2,499	27,762	82,666	2,499	27,762	82,666	3,081	34,234	82,666
3	0,701	7,788	90,45						
4	0,361	4,015	94,47						
5	0,218	2,425	96,89						
6	0,145	1,609	98,50						
7	0,109	1,216	99,72						
8	2,519 E-02	0,280	99,99						
9	1,311E-4	1,457E-3	100,00						

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**Matriz de componentes antes da rotação**

phi	CP1	CP2
-5	0,459	0,615
-4	0,703	0,577
-3	0,881	0,318
-2	0,879	-0,261
-1	0,525	-0,786
0	-0,204	-0,868
1	-0,866	-0,121
2	-0,935	0,299
3	-0,863	0,380

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**ANEXO V - Dados da análise de componentes principais (cont.)**

**Matriz de componentes após a rotação**

phi	CP1	CP2
-5	0,100	0,760
-4	0,332	0,847
-3	0,614	0,708
-2	0,895	0,202
-1	0,842	-0,429
0	0,246	-0,857
1	-0,697	-0,529
2	-0,962	-0,195
3	-0,939	-0,090

Método de extracção: Análise das componentes principais.  
Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser.  
Rotação convergiu após 3 interacções.

*Scores*

Amostra	Score CP1	Score CP2
SP1	-0,065	1,554
SP2	0,775	1,369
SP2.1	0,520	1,385
SP2.2	0,110	3,650
SP2.3	0,909	-0,095
SP3	-2,081	-0,292
SP4	0,706	1,006
SP5	-1,091	-0,704
SP6	0,457	-0,882
SP7	-2,527	0,419
SP8	0,930	0,207
SP9	-1,801	-0,052
SP10	0,970	-1,207
SP11	-0,367	-1,115
SP12	0,817	-0,366
SP13	-1,839	0,003
SP14	0,632	-0,329
SP15	0,484	0,342
SP16	0,995	-1,009
SP17	0,199	2,347
SP18	0,761	-1,071

## ANEXO V - Dados da análise de componentes principais (cont.)

## Scores (cont.)

Amostra	ScoreF1	ScoreF2
SP19	0,046	-1,275
SP20	0,617	0,016
SP21	-0,322	-1,026
SP23	-1,807	-0,161
SP24	-0,324	1,322
SP25	-0,375	-0,184
SP26	0,653	-0,899
SP27	-0,028	-0,136
SP28	0,712	-1,000
SP30	-1,003	-0,280
SP31	0,775	0,409
SP32	0,745	1,594
SP33	0,356	-0,135
SP36	-0,620	-0,756
SP37	0,927	-0,397
SP38	0,735	-0,625
SP39	-0,985	-0,545
SP40	0,925	-0,267
SP41	0,210	-0,649
SP42	0,560	-0,115
SP43	0,379	-0,423
SP44	0,857	1,029
SP53	-2,303	0,456
SP54	0,308	-0,288
SP55	-1,405	-0,133
SP56	0,873	-0,792

**ANEXO VI - Dados da análise de componentes principais da U1**

**Dados iniciais**

Amostra	-5 phi	-4phi	-3 phi	-2 phi	-1 phi	0 phi	1 phi	2 phi	3 phi
SP2	0.46	9.13	41.38	27.45	14.63	5.47	1.19	0.15	0.14
SP2.1	3.30	10.94	30.25	20.30	17.41	10.51	3.21	2.47	1.56
SP2.2	8.82	23.17	37.20	19.61	8.09	2.17	0.64	0.17	0.13
SP2.3	0.49	6.19	19.55	23.06	23.57	18.62	6.75	1.44	0.33
SP15	1.17	10.78	17.80	17.35	20.85	16.04	10.82	3.07	1.58
SP16	0.00	1.37	11.79	19.41	30.20	24.16	9.06	3.26	0.74
SP17	5.92	18.27	27.17	16.97	15.44	5.75	4.87	2.20	1.08
SP18	0.00	1.65	9.15	17.20	27.70	25.60	11.47	6.50	0.73
SP20	0.00	5.49	20.61	21.71	21.91	14.33	10.40	3.92	1.64
SP21	0.00	0.94	4.99	9.34	15.28	25.54	26.57	14.17	3.16
SP28	0.00	1.37	10.73	19.39	23.61	25.88	14.37	3.49	1.17
SP31	0.48	10.61	24.31	19.47	21.98	15.85	4.20	1.68	1.41
SP32	0.81	11.92	37.57	31.02	12.79	4.34	1.13	0.23	0.20
SP33	0.00	4.10	16.02	22.49	18.40	15.10	15.34	6.98	1.57
SP37	0.00	3.89	21.83	20.47	25.99	18.45	6.73	1.61	1.02
SP38	0.17	3.28	14.56	19.74	23.42	22.94	11.05	4.14	0.71
SP40	0.00	3.34	20.35	24.56	24.06	17.65	7.36	2.16	0.54
SP41	0.00	2.91	11.85	15.16	19.41	21.55	19.01	8.87	1.23
SP42	1.17	5.40	17.30	18.35	21.84	18.86	13.15	3.33	0.60
SP43	0.36	4.18	14.96	16.30	19.87	21.40	15.08	5.25	2.59
SP56	0.00	1.61	15.80	20.70	24.33	24.03	11.25	1.52	0.77

**Matriz de correlação**

phi	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
-5	1,000	0,889	0,543	-0,066	-0,648	-0,676	-0,473	-0,333	-0,226
-4	0,889	1,000	0,773	0,200	-0,725	-0,879	-0,672	-0,510	-0,293
-3	0,543	0,773	1,000	0,674	-0,633	-0,934	-0,863	-0,724	-0,518
-2	-0,066	0,200	0,674	1,000	-0,108	-0,526	-0,710	-0,724	-0,685
-1	-0,648	-0,725	-0,663	-0,108	1,000	0,759	0,229	0,045	-0,024
0	-0,676	-0,879	-0,934	-0,526	0,759	1,000	0,742	0,560	0,377
1	-0,473	-0,672	-0,863	-0,710	0,229	0,742	1,000	0,908	0,694
2	-0,333	-0,510	-0,724	-0,724	0,045	0,560	0,908	1,000	0,729
3	-0,226	-0,293	-0,518	-0,685	-0,024	0,377	0,694	0,729	1,000

Determinante = 1,34E-008

**ANEXO VI - Dados da análise de componentes principais da U1 (cont.)**

**Variância total explicada resultante da extracção através da análise de componentes principais**

Componentes principal (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada	Total	% Variância	% Acumulada
1	5,579	61,985	61,985	7,579	61,985	61,985	3,867	42,964	42,964
2	2,109	23,432	85,417	2,109	23,432	85,417	3,821	42,453	85,417
3	0,715	7,939	93,356						
4	0,351	3,902	97,258						
5	0,094	1,041	98,300						
6	0,071	0,793	99,093						
7	0,051	0,567	99,659						
8	0,030	0,336	99,995						
9	0,000	0,005	100,00						

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**Matriz de componentes antes da rotação**

phi	CP1	CP2
-5	-0,672	0,575
-4	-0,853	0,455
-3	-0,958	0,013
-2	-0,650	-0,618
-1	0,582	-0,687
0	0,926	-0,257
1	0,909	0,304
2	0,798	0,482
3	0,631	0,573

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**ANEXO VI - Dados da análise de componentes principais da U1(cont.)**

**Matriz de componentes após a rotação**

	CP1	CP2
phi		
-5	-0,075	0,881
-4	-0,288	0,923
-3	-0,673	0,682
-2	-0,897	0,017
-1	-0,068	-0,897
0	0,479	-0,834
1	0,860	-0,422
2	0,906	-0,218
3	0,852	-0,036

Método de extracção: Análise das componentes principais.  
Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser.  
Rotação convergiu após 3 interacções

*Scores*

Amostra	Score CP1	Score CP2
SP2	-1,528	0,551
SP2.1	-0,091	0,992
SP2.2	-0,319	2,842
SP2.3	-0,846	-0,567
SP15	0,385	0,296
SP16	-0,377	-1,282
SP17	0,241	1,861
SP18	0,214	-1,080
SP20	0,011	-0,160
SP21	3,107	0,254
SP28	0,187	-0,902
SP31	-0,292	0,128
SP32	-1,603	0,715
SP33	0,497	-0,082
SP37	-0,562	-0,657
SP38	-0,090	-0,716
SP40	-0,864	-0,745
SP41	1,168	-0,236
SP42	0,026	-0,256
SP43	1,127	-0,011
SP56	-0,389	0,945

**ANEXO VII - Dados da análise de componentes principais da U2**

**Dados iniciais**

Amostra	-5 phi	-4phi	-3 phi	-2 phi	-1 phi	0 phi	1 phi	2 phi	3 phi
SP1	0.00	13.35	35.81	17.06	10.46	2.60	9.25	7.17	4.31
SP3	0.00	0.00	0.00	0.35	1.53	13.22	39.87	26.77	18.26
SP4	0.00	20.66	17.32	25.95	18.04	11.50	2.96	2.14	1.44
SP5	0.00	0.00	0.00	4.58	13.89	18.27	26.79	20.80	15.67
SP6	0.00	0.00	0.00	27.75	24.32	17.91	15.43	9.55	5.05
SP7	0.00	0.00	0.00	0.24	1.13	5.53	23.68	36.17	33.25
SP8	0.00	5.37	24.35	24.99	26.59	10.30	5.15	2.18	1.07
SP9	0.00	0.00	0.00	3.11	5.95	14.93	14.42	34.10	27.49
SP10	0.00	0.00	0.39	28.00	30.68	22.09	11.11	5.51	2.22
SP11	0.00	0.00	1.03	5.28	22.31	24.49	18.37	16.68	11.84
SP12	0.00	1.44	15.42	26.27	26.61	14.21	9.25	4.41	2.39
SP13	0.00	0.00	0.00	3.67	6.19	12.41	19.08	25.58	33.08
SP14	0.43	4.34	16.50	19.23	22.36	20.58	9.79	3.57	3.20
SP19	0.00	0.00	5.06	11.62	17.62	29.99	22.08	8.55	5.09
SP23	0.00	0.00	1.01	3.09	5.12	13.23	27.40	26.68	23.45
SP24	2.01	18.68	18.92	10.47	10.05	13.02	12.14	8.19	6.52
SP25	0.00	6.87	8.44	11.52	14.10	18.65	18.65	11.37	10.40
SP26	0.00	2.08	9.05	14.47	32.56	19.43	12.55	5.30	4.56
SP27	0.00	7.13	11.42	14.53	16.13	19.65	12.37	9.10	9.67
SP30	0.00	2.48	4.78	7.40	12.40	14.55	25.14	20.74	12.52
SP36	0.00	2.55	0.47	10.32	12.10	24.49	21.49	13.83	14.76
SP39	0.00	.00	0.99	6.65	14.69	18.04	18.19	21.64	19.80
SP44	0.75	8.91	30.34	31.97	16.38	8.14	2.00	0.86	0.65
SP53	0.00	0.00	0.00	2.27	3.64	6.87	13.89	35.21	38.11
SP54	0.00	5.27	14.47	16.31	19.67	20.34	10.32	6.74	6.88
SP55	0.00	0.00	0.00	6.67	12.39	11.89	16.30	24.99	27.76

**ANEXO VII - Dados da análise de componentes principais da U2 (cont.)**

**Matriz de correlação**

phi	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
-5	1,000	0,556	0,379	0,122	-0,072	-0,131	-0,240	-0,249	-0,225
-4	0,556	1,000	0,731	0,405	0,044	-0,305	-0,544	-0,538	-0,487
-3	0,379	0,731	1,000	0,612	0,264	-0,379	-0,680	-0,692	-0,642
-2	0,122	0,405	0,612	1,000	0,736	0,035	-0,751	-0,861	-0,816
-1	-0,072	0,044	0,264	0,736	1,000	0,462	-0,539	-0,777	-0,759
0	-0,131	-0,305	-0,379	0,035	0,462	1,000	0,181	-0,269	-0,305
1	-0,240	-0,544	-0,680	-0,751	-0,539	0,181	1,000	0,641	0,498
2	-0,249	-0,538	-0,692	-0,861	-0,777	-0,269	0,641	1,000	0,952
3	-0,225	-0,487	-0,642	0,816	-0,759	-0,305	0,498	0,952	1,000

Determinante = 4,61E-011

**Variância total explicada resultante da extracção através da análise de componentes principais**

Componentes principal (CP)	Valores próprios iniciais			Variância antes da rotação			Variância após a rotação		
	Total	% variância	% acumulada	Total	% variância	% acumulada	Total	% variância	% acumulada
1	4,880	54,227	54,227	4,880	54,227	54,227	4,305	47,837	47,837
2	2,068	22,973	77,200	2,068	22,973	77,200	2,643	29,363	77,200
3	0,951	10,563	87,763						
4	0,467	5,193	92,956						
5	0,301	3,339	96,295						
6	0,181	2,011	98,306						
7	0,123	1,365	99,671						
8	0,030	0,329	100,00						
9	5,20E-008	5,78E-007	100,00						

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**ANEXO VII - Dados da análise de componentes principais da U2 (cont.)**

**Matriz de componentes antes da rotação**

phi	CP1	CP2
-5	0,349	0,527
-4	0,657	0,592
-3	0,803	0,451
-2	0,898	-0,164
-1	0,711	-0,623
0	0,051	-0,825
1	-0,798	-0,169
2	-0,956	0,211
3	-0,904	0,260

Método de extracção: Análise de componentes principais.

**Matriz de componentes após a rotação**

phi	CP1	CP2
-5	0,073	0,628
-4	0,318	0,825
-3	0,512	0,765
-2	0,875	0,260
-1	0,916	-0,234
0	0,419	-0,713
1	-0,636	-0,511
2	-0,948	-0,244
3	-0,924	-0,177

Método de extracção: Análise das componentes principais.  
Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser.  
Rotação convergiu após 3 interacções

**ANEXO VII - Dados da análise de componentes principais da U2 (cont.)**

*Scores*

Amostra	Score CP1	Score CP2
SP1	0,091	2,086
SP3	-1,415	-0,458
SP4	0,915	1,448
SP5	-0,458	-0,801
SP6	0,909	-0,826
SP7	-1,932	0,299
SP8	1,156	0,626
SP9	-1,169	-0,184
SP10	1,428	-1,128
SP11	0,272	-1,178
SP12	1,142	-0,100
SP13	-1,226	-0,118
SP14	0,998	0,081
SP19	0,68	-1,345
SP23	-1,182	-0,283
SP24	-0,180	2,563
SP25	0,128	-0,101
SP26	1,103	-0,725
SP27	0,436	-0,002
SP30	-0,454	-0,278
SP36	0,015	-0,857
SP39	-0,380	-0,618
SP44	0,928	1,858
SP53	0,748	-0,114
SP54	-01,722	0,351
SP55	-0,837	-0,196

**Anexo VIII – Dados da análise de cluster**

Dados iniciais

	Forma dos clastos	Rebordo das partículas	Estruturas da superfície do vidro	Abundância de vesículas	Forma das vesículas
SP1	2,60	3,58	3,22	3,57	3,80
SP2	2,62	2,84	3,11	3,00	3,27
SP2.1	2,33	3,19	3,23	3,29	3,29
SP6	2,28	2,66	3,29	2,94	2,94
SP8	2,43	3,24	3,20	3,23	3,34
SP12	2,28	3,06	3,09	2,88	3,11
SP13	2,19	2,66	3,36	2,82	3,03

*“Proximity Matrix”*

Distância Euclidiana							
Caso	SP1	SP2	SP2.1	SP6	SP8	SP12	SP13
SP1	0,00	1,080	0,751	1,446	0,680	1,158	1,480
SP2	1,080	0,00	0,553	0,541	0,513	0,452	0,608
SP2.1	0,751	0,553	0,00	0,729	0,146	0,489	0,778
SP6	1,446	0,541	0,729	0,00	0,726	0,482	0,188
SP8	0,687	0,512	0,140	0,782	0,00	0,492	0,827
SP12	1,158	0,452	0,489	0,482	0,492	0,00	0,501
SP13	1,480	0,608	0,778	0,188	0,827	0,501	0,00

Matriz de dissimilaridade

**Anexo VIII** - Dados da análise de *cluster* (cont.)

Esquema de aglomeração

Etapa	Combinação de Cluster		Coeficiente	Primeira etapa de Cluster		Próxima etapa
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	3	5	0,140	0	0	4
2	4	7	0,188	0	0	5
3	2	6	0,452	0	0	4
4	2	3	0,553	3	1	5
5	2	4	0,827	4	2	6
6	1	2	1,480	0	5	0