



Jorge Edgar Marques Simões

# AS GRUTAS E OS PALEOAMBIENTES: ESTUDO DE DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL NO ALGAR DO PENA

Dissertação de Mestrado em Geografia Física – Ambiente e Ordenamento do Território, orientada pelo Doutor Lúcio Cunha, apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra

2015



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Faculdade de Letras

**AS GRUTAS E OS PALEOAMBIENTES:  
ESTUDO DE DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL NO  
ALGAR DO PENA**

**Ficha Técnica:**

<b>Tipo de trabalho</b>	<b>Dissertação de Mestrado</b>
<b>Título</b>	<b>AS GRUTAS E OS PALEOAMBIENTES: ESTUDO DE DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL NO ALGAR DO PENA</b>
<b>Autor</b>	<b>Jorge Edgar Marques Simões</b>
<b>Orientador</b>	<b>Lúcio José Sobral da Cunha</b>
<b>Júri</b>	<b>Presidente: António Manuel Rochette Cordeiro Vogal: I. Luca António Dimuccio</b>
<b>Identificação do Curso</b>	<b>2º Ciclo em Geografia</b>
<b>Área científica</b>	<b>Geografia</b>
<b>Especialidade/Ramo</b>	<b>Geografia Física – Ambiente e Ordenamento do Território</b>
<b>Data da defesa</b>	<b>27-10-2015</b>
<b>Classificação</b>	<b>17 valores</b>



## **Agradecimentos**

Pretendo deixar os meus maiores agradecimentos ao Doutor Lúcio Cunha, pela sugestão deste trabalho, enquadrado dentro das minhas áreas de interesse em Geografia Física, bem como por toda a sabedoria que gentilmente partilhou comigo, por todo seu bem à vontade, apreço e disponibilidade que teve para me aturar e se deslocar à Gruta do Algar do Pena; pelos encargos que lhe trouxe, bem como pelos problemas, nomeadamente o joelho que magoou por acidente na última descida que efetuámos à gruta. Ao professor Luca Dimuccio, pelos materiais, ensinamentos e disponibilidade que teve para me enriquecer o espírito crítico dentro desta temática. Sinto-me satisfeito por afirmar que os ensinamentos de ambos sobre geomorfologia cársica, desde tempos de primeiro ano de licenciatura (aquando da saída de campo de Geomorfologia Estrutural ao Maciço Calcário Estremenho), foram os responsáveis pela existência desta dissertação.

Agradeço ao Doutor António Campar de Almeida, pelas conversas sobre o carso da Serra da Boa Viagem, parte da área de estudo da sua tese de Doutoramento onde me estreei no estudo da temática; ao falecido Doutor Fernando Rebelo, pela satisfação e alegria que demonstrava em nos transmitir ensinamentos nas aulas de Geografia de Portugal, sobre a tão famosa área de estudo de Fernandes Martins; ao Doutor Luciano Lourenço, que em grande parte contribuiu para o meu crescimento e maturação enquanto geógrafo; a todos os outros professores do Departamento de Geografia, porque sem eles ser-me-ia impossível chegar a este estágio de conhecimento.

Ao Sr. Olímpio Martins e à sua colega e esposa Maria João, espeleólogos do PNSAC, agradeço por toda a disponibilidade que tiveram para me receber no CISGAP, e me acompanhar ao interior da gruta, pelas difíceis tarefas que nos esperaram e que realizámos com sucesso, pelo apoio, pela estadia numa habitação do ICNF durante três dias, fundamentais para a obtenção de informação, pelos ensinamentos sobre cavidades subterrâneas bem como pela amizade que acabámos por travar; sem exclusão, ao Sr. Alcides, que de igual modo também me acompanhou ao interior da gruta e me deu a conhecer, entre alguns outros valores espeleológicos, alguns dos morcegos que lá habitam, a ele e a todos o meu profundo obrigado.

À Susana, parte integrante da minha vida nesta fase de redação da dissertação, pela atenção, amor e carinho, por toda a compreensão e força que me deu para o meu sucesso. Endereço, também, os meus maiores agradecimentos ao Marco Cunha, Mestre em Geociências pelo Departamento de Ciências da Terra da FCTUC, pelas discussões teóricas, pelos

conhecimentos científicos dentro da temática da Geologia, pelas nossas trocas de ideias em *software* SIG e pela maturidade crítica que me incutiu.

Aos meus colegas e amigos de curso, dos vários anos que me precederam e dos que se me seguiram, pelo convívio, amizade e maluqueiras juntos. Agradeço em particular aos amigos de todas as horas e aos companheiros incansáveis do meu percurso académico, nomeadamente ao Nuno Figueiredo, eterno colega de trabalhos de grupo em praticamente todas as unidades curriculares de Licenciatura e Mestrado, sempre acompanhados de músicas particularmente inspiradores à boa feitura dos mais diversos trabalhos; à Andreia Martins, ao João Almeida e Eduardo Vitória, por todo o apoio, amizade e noites de festa que tivemos; ao Jorge Cunha, por todas as sessões de estudo e trabalho em conjunto, em particular ao longo do Mestrado, por todo o convívio e amizade; ao Marco Dias, Filipe Liberado, Pedro Costa, Luís Dias, entre outros, que fizeram sempre por estar presentes nos bons momentos, saídas de campo e outras ocasiões mais boémias, mas que sem eles não seria a mesma coisa; à Ana Rita Rodrigues, pela sua atenção e gosto pelo curso, pela estima à minha pessoa e todos os votos de força na realização da presente dissertação. Com um gesto especial, agradeço ao meu padrinho de Praxe, António Sousa, pelos valores Praxísticos e académicos que me incutiu, pelos ensinamentos de vida e amizade manifestados desde o início do meu percurso académico; aos meus afilhados de curso, tendo uns optado por outros caminhos de estudos mas que não deixam de ser parte integral do meu percurso, aos quais fiz por perceberem a “magia” por trás da Geografia, da sua utilidade e das áreas de interesse. Por fim, e não menosprezando, agradeço também à Ana Inês, à “Xica”, ao Mateus, ao Paulino, ao Elmano e muitos mais por toda a amizade e convívio, desejando-lhes os votos de maior sucesso nas suas vidas.

Quero agradecer a toda a malta colega de casa e amigos da Residência António José de Almeida, onde habitámos comumente a partir da minha terceira matrícula, por todo o apoio e amizade, jantares, festas, saídas e farras, gente com quem me posso orgulhar de ter travado amizades para o resto da vida.

Agradeço igualmente a toda a equipa de vigilantes florestais ao serviço da EMEIF de Coimbra que me acompanhou ao longo destes dois anos de elaboração da tese quando de serviço no posto de vigia 41.10 (Terreiros de Santo António, Vila Nova de Poiares), pelo apoio e respeito pela minha desarrumação de papeladas, livros e esquemas que vigorou, bem como pelos agentes da GNR que, aquando das suas pontuais visitas, me congratularam pelo trabalho em desenvolvimento. A todos, um sentido muito obrigado.

Por fim, e sem menor relevo, agradeço à minha família por toda a preocupação e atenção na elaboração desta dissertação e pelo seu apoio financeiro e material, sem os quais não seria possível o meu sucesso. Um muito obrigado em particular à minha mãe, que se sacrificou na gestão do seu horário de trabalho para ter hipóteses de me acompanhar ao CISGAP, em detrimento das merecidas horas de descanso entre turnos de trabalho.

Na fase final de elaboração deste trabalho, cabe também deixar um agradecimento especial a toda a comunidade trabalhadora da *Start-Up Incubation Network* (SIN), situada no edifício da Associação Comercial e Industrial de Coimbra, onde por intermédio de um colega e amigo de curso, Jorge Melo, passei a fazer parte de toda uma família de novos empresários, com vista a fundar uma empresa ligada ao ramo geográfico; portanto, deixo um muito obrigado a todo o carinho com que me receberam, em particular ao Jorge, meu sócio, e ao Hugo Silva, pelo à vontade e pela ajuda que nos tem dado para levarmos o projeto avante.

Sem todos, seria impossível o meu desenvolvimento pessoal e intelectual. Assim, e em gesto de conclusão, a todos muito obrigado, e bem hajam!

Trabalho enquadrado dentro do projeto:

PTDC/CTE-GIX/117608/2010

**CAVE Project** – Karstic caves of Central Portugal as palaeoenvironmental archives: speleogenesis and present-day dynamics

*in memoriam* dos professores  
Doutor Fernando Rebelo e António Manuel Gama Mendes,  
que deixaram um grande vazio na Geografia portuguesa e nos nossos corações...

*“All that is gold does not glitter,  
Not all those who wander are lost;  
The old that is strong does not wither,  
Deep roots are not reached by the frost”*

excerto do poema “All That is Gold Does Not Glitter” de J. R. R. Tolkien, A Irmandade do Anel

## Resumo

O Algar do Pena, situado no Maciço Calcário Estremenho é a gruta fóssil com maior volume conhecida em Portugal e com particular interesse pelos espeleotemas que nela se desenvolvem. Devido essencialmente a efeitos de deformação estrutural, o seu desenho interno tem elevado valor científico, pedagógico e turístico para todas as faixas etárias.

A fim de sistematizar as particularidades espeleológicas e geomorfológicas do Algar do Pena, esta dissertação incidiu numa descrição das formas e do seu enquadramento no quadro paleoambiental conhecido, recorrendo a um raciocínio dedutivo de acordo com todas as particularidades observadas. Recorrendo a uma setorização interna e à marcação de 22 locais de interesse, passou-se à descrição dos factos e fenómenos que apresentam o atual modelado interno.

Enquadrando as principais características estruturais do Algar do Pena com as da região e da litologia onde se insere, permite-nos concluir que se trata de um algar de abatimento, com evolução constante por descompressão, onde as principais orientações inventariadas no interior refletem a situação evidenciada por uma análise à superfície e à escala regional. Os resultados obtidos constataam uma evolução faseada de acordo com as condicionantes morfológicas e estruturais, traduzidos nas dispersões dos espeleotemas tratados; igualmente os depósitos encontrados retratam as várias fases evolutivas, de acordo com fenómenos passados e, mais uma vez, a condicionante estrutural apresentada. O Algar do Pena apresenta-se, assim, como um ponto de referência para o estudo e conhecimento do carso, ainda muito por descobrir.

**Palavras-chave:** Maciço Calcário Estremenho, Algar do Pena, espeleotemas, paleoambientes.

## **Abstract**

Pena Cave, located in the Estremadura Limestone Massif (North of Santarém, Centre of Portugal) is the biggest volume known fossil cave in Portugal, with particular interest due to its developing speleothems. Due, essentially, to structural deformation effects, its internal plan has highly important scientific, pedagogic and touristic value to all ages.

In way to outline all speleological and geomorphological features in Pena Cave, this thesis fell on a description of the shapes and their outlining in a paleoenvironmental panorama, going through deductive reasoning according with all observed features. Getting use of internal sectoring and marking of 22 interest places, we try to describe facts and phenomena of the internal shapes.

Outlining the primary structural features of Pena Cave with those from the region and lithology where it's inserted, allow us to summarize that it's an abatement shaft, with constant evolution trough decompression, where the main inventoried directions on the inside reflect the analysis on the analysis on the surface and on the regional scale. The obtained results report a phased evolution according with the morphological and structural restrictions, revealed trough studied speleothems dispersions; likewise, the main deposits reveal those many evolutionary stages, according with past phenomena, and once again, with the structural restrictions. Pena Cave is, then, a reference spot to the study and knowledge of karst systems, yet much to discover.

**Key words:** Estremadura Limestone Massif, Pena Cave, speleothems, paleoenvironments.

## Índice geral

Índice de tabelas.....	II
Índice de figuras.....	II
Índice de fotografias .....	IV
Introdução .....	I
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Metodologia.....	4
1.3. Área de Estudo .....	5
1.4. O conhecimento sobre o Carso em Portugal e no Mundo .....	6
1.5. As grutas .....	11
1.6. Os espeleotemas .....	18
Capítulo 2.....	32
Breve caracterização do Maciço Calcário Estremenho: especificidade da bordadura sul do Planalto de Santo António .....	32
2.1. Geologia e Geomorfologia.....	33
2.1.1. O problema de definição de uma cartografia geológica geral para a área de estudo .....	34
2.1.2. Geomorfologia .....	40
2.1.3. Algumas teorias sobre a génese do Maciço Calcário Estremenho.....	46
2.2. Clima e Hidrologia.....	48
2.3. Ocupação e uso do solo.....	51
2.4. Enquadramento geológico e geomorfológico do Algar do Pena na bordadura Sul do Planalto de Santo António.....	55
Capítulo 3.....	68
Algar do Pena: uma gruta entre mil e quinhentas tantas mais.....	68
3.1. Constituição estrutural.....	71
3.1.1. Setores internos.....	72
3.1.2. Análise setorial.....	74
3.1.2.1. Setor inicial .....	77
3.1.2.2. Setor intermédio .....	80
3.1.2.3. Setor inferior .....	92
3.1.2.4. Setor superior .....	109
3.2. Reconstituição e síntese espeleogenética.....	125
Conclusão.....	135
Bibliografia .....	137

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1</b> - Legenda respetiva à geologia abrangida pelo enquadramento da área de estudo com base nas cartas "antigas".....	35
<b>Tabela 2</b> - Legenda respetiva à geologia abrangida pelo enquadramento da área de estudo com base nas cartas "recentes". .....	36
<b>Tabela 3</b> - resultado final da conjugação das cartas "antigas" com as "recentes" .....	39

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> - Mapa de enquadramento da área de estudo .....	6
<b>Figura 2</b> - Paisagens cársticas e regiões calcárias do mundo.....	9
<b>Figura 3</b> - Tipos de cavidades segundo fases freáticas e vadasas .....	14
<b>Figura 4</b> - Esquematisação dos perfis das condutas de acordo com as diferentes fases.....	15
<b>Figura 5</b> - Principais concreções / espeleotemas numa gruta .....	21
<b>Figura 6</b> – Secções longitudinais de estalagmites .....	28
<b>Figura 7</b> - Síntese de morfologias que possibilitam a reconstituição de uma cronologia de eventos e agentes e morfologias inventariadas na gruta do Zambujal.....	30
<b>Figura 8</b> - Principais morfo-estruturas do Maciço Calcário Estremenho e dos seus confins	33
<b>Figura 9</b> - Transição da carta 26-B para a 27-A.....	37
<b>Figura 10</b> - Tabela litostratigráfica do MCE .....	38
<b>Figura 11</b> - Esquema demonstrativo do funcionamento do <i>Polje</i> de Minde.....	43
<b>Figura 12</b> - Perfil geológico do <i>Polje</i> da Mendiga. ....	45
<b>Figura 13</b> - Perfil geológico do Planalto de Santo António.....	45
<b>Figura 14</b> - Cortes geológicos das depressões de Alvados e de Minde .....	47
<b>Figura 15</b> - Gráficos termopluviométricos para a estação de Santarém .....	50
<b>Figura 16</b> - Ocupação e uso do solo da área de estudo .....	52
<b>Figura 17</b> - Incêndios florestais registados dentro da área de estudo .....	54
<b>Figura 18</b> - Mapa de enquadramento do Algar do Pena no panorama da vertente sul do Planalto de Santo António. ....	56
<b>Figura 19</b> - Esboço geomorfológico da área envolvente ao CISGAP.....	57
<b>Figura 20</b> - <i>Hillshade</i> ao MDT da área de estudo.....	60
<b>Figura 21</b> - Diagrama de rosa do total de alinhamentos marcados.....	61
<b>Figura 22</b> - Diagramas em rosa para as diferentes famílias de alinhamentos.....	61

<b>Figura 23</b> - Extrato da interpretação fotogeológica do Planalto de Santo António.....	62
<b>Figura 24</b> - Mapa geológico com a marcação dos alinhamentos levantados .....	65
<b>Figura 25</b> - Exemplos de fauna no interior no interior do Algar do Pena .....	69
<b>Figura 26</b> - Corte geológico referente aos arredores do CISGAP .....	71
<b>Figura 27</b> - Cartografia da GAP em uso pelo CISGAP.....	72
<b>Figura 28</b> - Setores internos definidos para a Gruta do Algar do Pena .....	73
<b>Figura 29</b> – Vista a partir do Li4 para Este.....	82
<b>Figura 30</b> - Duas vistas distintas da escombreira de blocos Oeste do setor intermédio.....	83
<b>Figura 31</b> - Pormenores da estalagmite nº3, vista por cima e em perfil.....	84
<b>Figura 32</b> - Estalagmites nº 4 e 5, respetivamente.....	85
<b>Figura 33</b> - Morfologia da parede concrecionada/cascata estalagmítica .....	86
<b>Figura 34</b> – Vista para ENE a partir da estalagmite nº6.....	87
<b>Figura 35</b> - Representação gráfica dos azimutes de desenvolvimento das estalagmites quantificadas no setor intermédio. ....	88
<b>Figura 36</b> - Couraças ferruginosas encontradas no setor intermédio .....	91
<b>Figura 37</b> - Vestígios de escoamento freático e couraças ferruginosas no Li8 .....	92
<b>Figura 38</b> - Depósito de crioclastos no setor inferior.....	95
<b>Figura 39</b> - Principais características encontradas no Li11 .....	98
<b>Figura 40</b> - Legenda de siglas e símbolos utilizados nos esboços construídos à mão .....	99
<b>Figura 41</b> - Esboço do perfil IJ.....	99
<b>Figura 42</b> – Vestígios de colapso de uma parte do teto no setor inferior final.....	100
<b>Figura 43</b> - Resultado da fraturação nas imediações do Li13 .....	102
<b>Figura 44</b> - esboço do perfil KL.....	103
<b>Figura 45</b> - Tipos de depósitos e espeleotemas encontrados entre e nas imediações dos Li14 e 15.....	105
<b>Figura 46</b> - Formas e depósitos encontrados no flanco Norte do setor inferior final .....	108
<b>Figura 47</b> - Esboço do perfil HGF .....	109
<b>Figura 48</b> - Características do local onde se enquadra a estalagmite nº7 .....	111
<b>Figura 49</b> – Pormenor da reentrância NE do setor superior, marcado em Anexo II.....	112
<b>Figura 50</b> - Estalagmite nº8 .....	113
<b>Figura 51</b> - Coluna e estalactite quebrada com nova concreção; panorama de instabilidade estrutural do teto nas imediações SSE da estalagmite nº8.....	114
<b>Figura 52</b> – Indícios de deformação encontrados a SE do Li19.....	116

<b>Figura 53</b> - Estalactites e estalagmites deformadas.....	117
<b>Figura 54</b> - Estalagmites amostradas no setor superior e estalactites excêntricas.....	118
<b>Figura 55</b> - Família de estalagmites no rebordo estalagmítico a ENE do Li19.....	119
<b>Figura 56</b> - Estalagmites estudadas nº 12 e 13.....	120
<b>Figura 57</b> - Esboço do perfil MN.....	121
<b>Figura 58</b> - Morfologia do setor superior no seu quadrante Sul.....	122
<b>Figura 59</b> - Evidências do Li22.....	124
<b>Figura 60</b> - Esquemática da génese de uma gruta, adaptado ao Algar do Pena.....	126
<b>Figura 61</b> - Esboço do perfil AB.....	130
<b>Figura 62</b> -Esboço do perfil CDE.....	132
<b>Figura 63</b> - Planta do AP com a marcação dos principais lineamentos levantados em trabalho de campo.....	133
<b>Figura 64</b> - Rosetas das orientações dos levantamentos efetuados dentro do AP.....	134

## Índice de fotografias

<b>Fotografia 1</b> - Os Olhos de Água do Alviela.....	12
<b>Fotografia 2</b> - Estalactites em cortinas no Algar do Pena.....	22
<b>Fotografia 3</b> – Um dos espeleotemas excêntricos em coral encontrado no Algar do Pena.....	24
<b>Fotografia 4</b> - Represa de rocha abandonada ou <i>gour</i> .....	26
<b>Fotografia 5</b> - Fórnea de Alvados.....	42
<b>Fotografia 6</b> - Vista do topo da Costa de Minde para o <i>Polje</i> de Minde.....	43
<b>Fotografia 7</b> - Exemplo de um lapiás de grandes dimensões.....	46
<b>Fotografia 8</b> - Vista SSE-NNW a partir do CISGAP.....	69
<b>Fotografia 9</b> - Um pouco acima do CISGAP, vestígios da atividade de pedreira,.....	70
<b>Fotografia 10</b> - Interpretação do alinhamento separador (vista N-S) do setor intermédio para o inferior.....	89
<b>Fotografia 11</b> - Panorama do teto da gruta.....	93
<b>Fotografia 12</b> - Principais formas encontradas no Li18.....	96

# **Capítulo I**

## **Introdução**

# Capítulo I

## Introdução

O geógrafo é acima de tudo um estudioso da Natureza, pela superfície terrestre, pelos fenómenos físicos e humanos que nela se desenvolvem, é um ser que olha à sua volta e tenta perceber os porquês acima de quaisquer quando, onde e como. Como dita a “lei” da Ciência, a investigação, a pesquisa e a experimentação leva a que conclusões sejam retiradas, para depois serem divulgadas, confirmando-se a sua veracidade e aplicabilidade, até à data que tal seja refutado ou substituído por novas formas de entendimento. Como tal, este não se trata de um estudo perpétuo, mas simples contributo de continuidade ao que já fora feito e ao que ainda estará para fazer; afigura-se-nos, apesar de tudo, bastante promissor no que refere à temática, em particular em Portugal, pelo que esperamos que seja passível de críticas e de acrescentos posteriores.

A nível pessoal, o interesse por um trabalho com este tema surgiu nas aulas de Geografia das Regiões Cársicas, enquanto unidade curricular opcional do 2º ano de licenciatura em Geografia, e mais tarde com o trabalho de Seminário I de 3º ano de licenciatura, no que se referiu explicitamente à Serra da Boa Viagem, no concelho da Figueira da Foz, ambas as unidades curriculares lecionadas pelo Doutor Lúcio Cunha, orientador desta dissertação de Mestrado. Não só pelo que se aprende na sala de aula, sendo descendente de gente oriunda de zonas onde o carso se faz sentir (Pombal), as inúmeras viagens para esses lados, e os dizeres dos antigos sempre me intrigaram: “porque é que a Serra de Sicó parece toda cimentada?”, interrogava-me minha bisavó, iletrada e analfabeta, a olhar à distância para aquela serra, sabendo hoje que não é nada mais que um caos de rochas, onde a vegetação quase não existe e onde a água à superfície escasseia porque se perde em profundidade. Ou mesmo o Agroal, em Vila Nova de Ourém, onde se passaram boas tardes de verão, em que apesar de dita termal, água gelada brotava por aquela nascente perene e de grande caudal, alimentadora do rio Nabão; mal saberia eu na minha juventude a importância daquele aspeto cársico, bem como todo o canhão cársico por onde tal rio escavou o seu leito. Mesmo nas minhas leituras, o carso começou a surgir como algo que até então não entendia, passando a criar uma imagem nítida de paisagens muitas vezes descritas apenas por meras palavras.

Por outras palavras, deixa-se desde cedo definido que a escassa disponibilidade de bibliografia relativa à temática da espeleogénese, em particular das alterações anormais nas de-

mais concreções, leva a que se formulem considerações que possam vir a ser criticadas, exigindo partir duma perspetiva generalista para a aplicabilidade na prática, demonstrando já a dificuldade em tratar o tema. Não dispondo, no quadro deste trabalho, de métodos de datação de espeleotemas, tanto por não ser intrinsecamente necessário ou mesmo por indisponibilidade financeira, ficam por tratar com maior precisão alguns aspetos fundamentais, potencial alvo de futuros estudos; por outro lado, o não tão coerente levantamento altimétrico do interior da gruta que, pelos métodos de extrapolação usados para a criação da planta usada em *software* SIG, não revela o rigor e a precisão desejada, recorrendo-se para esboços feitos à mão a partir do que há disponível e complementado com observações diretas.

No que refere a aspetos gerais do trabalho, todas as siglas mencionadas foram primeiramente explicitadas e mencionadas entre parêntesis, e serão sempre que possível usadas ao longo desta dissertação (ex.: Maciço Calcário Estremenho (MCE)). Todas as fotografias ou figuras mencionadas sem referência a fonte na respetiva legenda, são da nossa autoria.

Quanto à cartografia usada como base para o trabalho em *software* SIG, esta utiliza sempre o mesmo *datum*, a partir do sistema de coordenadas “Lisboa Hayford Gauss IGeoE”, pois será o mais indicado para a cartografia militar 1:25.000 e onde se encaixa toda a cartografia subsequente, como a cartografia geológica 1:50.000 ou a Carta de Ocupação do Solo.

Tratando-se de um território cada vez mais conhecido por investigadores (geólogos, geomorfólogos, arqueólogos, entre outros), surge a necessidade de enquadrar os domínios cársicos no panorama dos recursos naturais, materiais e imateriais, com todo o proveito direto e indireto que se possa obter; aqui entra a Geografia, como ciência descritora da paisagem (ou um aglomerado de ciências que partem duma só), bem como avaliadora das problemáticas suscetíveis de averiguação futura por outras ciências. É, também, um tema promissor no domínio geológico, uma vez que não tendo formação de base nesse campo, cabe-nos, porventura, deixar mais questões do que respostas.

Por último, e sem mais considerações, esperam-se deste estudo sementes para novas colheitas, tentando inovar um pouco o conhecimento que se tem pelo carso e pela morfologia em domínios calcários, bem como por aquilo que se esconde abaixo da superfície e do olhar desatento do mero curioso.

## **1.1. Objetivos**

Com este estudo pretende-se pôr em evidência a particularidade dos sistemas endocársicos enquanto fontes de informação paleoclimática e tectónica, traduzida por depósitos

químicos e clásticos, que à partida estarão relacionados com eventos sísmicos ao longo de toda a extensão da cavidade em estudo, o Algar do Pena

Inserido no Maciço Calcário Estremenho, onde muito (e bem) trabalhou Alfredo Fernandes Martins, o “Algar do Pena” (AP) surgiu como proposta de trabalho no âmbito da Geografia pelo interesse que nos impõe no conhecimento e evolução dos paleoambientes subterrâneos, enquanto sinónimo de diferentes eventos climáticos e tectónicos; por outro lado, o ainda reduzido conhecimento das deformações estruturais nestes ambientes levou-nos, a partir dum artigo de José António Crispim (1999), a averiguar até que ponto a problemática se aplica àquilo que este questiona: se na realidade há mudanças morfológicas nos espeleotemas e nas cavidades por eventos sismotectónicos, ou se apenas por força da mão humana; destes subentendem-se a negligência humana e o vandalismo durante as visitas, explosões em pedreiras adjacentes às cavidades ou as vibrações induzidas por veículos pesados necessários para o trabalho nas pedreiras, que circulam por cima ou nas imediações das cavidades. Aquele estudo, aplicado a uma gruta na Serra da Arrábida, define-se como ponto de partida para um estudo semelhante, a uma gruta particular no Maciço Calcário Estremenho.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é sistematizar os indicadores que traduzam deformação estrutural da gruta, através da análise de concreções cársicas e da morfologia da cavidade, e, sempre que tal seja possível, quantificá-los; para atingir este objetivo é necessário, desde logo, o conhecimento geológico e geomorfológico do interior da cavidade, com especial importância para a distribuição das formas que se podem observar, bem como avaliar os seus condicionalismos genéticos; por fim, partindo do particular para o geral, procuraremos estabelecer algum padrão a partir do Algar do Pena para a região envolvente ao mesmo.

A fim de cumprir este objetivo, este trabalho será organizado em três grandes capítulos, sendo que no capítulo introdutório, se apresentam os objetivos e metodologia, seguido da apresentação da área de estudo, bem como do estado da arte no que refere ao conhecimento do carso no mundo, e em particular, em Portugal. Dar-se-á especial ênfase ao caso especial das grutas, ou seja, à sua morfologia e génese, bem como à sua importância no que toca ao desenvolvimento de espeleotemas. No segundo capítulo, entra-se na análise regional, ou seja, de toda a área envolvente da gruta, abordando-se a geologia e a geomorfologia da região, o clima e a hidrologia locais e, entrando no domínio humano, a ocupação e uso do solo, traduzida pela forma como a ocupação humana se tem vindo a processar (hábitos, tradições e costumes intrínsecos à paisagem) e pelos problemas por ela causados, abordando o caso especial das pedreiras de extração de rochas industriais e ornamentais, muito abundantes

na zona. No terceiro capítulo descenderemos ao subsolo e analisaremos o caso especial do Algar do Pena. Aqui, partindo de uma introdução histórica, desde a sua descoberta aos estudos iniciais, seguir-se-á o enquadramento geológico e geomorfológico com a região e, mais pormenorizadamente, avaliar-se-á a estrutura da gruta, subdividindo-a em setores, bem como se determinará a sua forma e orientação, quais e como se apresentam as suas formas internas e depósitos nos setores pré-determinados; por fim, os espeleotemas merecerão especial destaque no que refere à sua evolução espeleogenética, como o tipo de depósitos encontrados, os espeleotemas não-concordantes e até que ponto se verifica influência tectónica na disposição desses espeleotemas. Todo este capítulo e os anteriores serão fortemente suportados por cartografia explicativa. Por fim, no último e quarto capítulo, serão apresentadas as conclusões gerais ao trabalho, com particular atenção à síntese de evolução espeleogenética do Algar do Pena.

A escolha do Algar do Pena como objeto de estudo deve-se à necessidade de se querer averiguar e construir um esquema morfológico geral da gruta, de onde já foram feitos estudos preliminares, no que respeita à sua morfologia, espeleogénese e ao seu funcionamento essencialmente hidrológico. Este estudo pretende complementar os anteriores, acrescentando a tectónica como elemento avaliador da génese da cavidade e, posteriormente, como incubadora dos espeleotemas observáveis e das suas formas. O Algar do Pena, integrado no Parque Natural de Serra de Aire e Candeeiros (PNSAC), tem também integrado um centro de interpretação subterrâneo com elevado interesse pedagógico e didático, pelo que se encontra aberto ao público, com visitas guiadas, fazendo dele um ponto de atração turística, proporcionando tanto ao investigador como ao visitante uma paisagem subterrânea bastante singular e incomparável, traduzindo-se assim num local de elevado interesse científico, didático e turístico.

## **1.2. Metodologia**

A metodologia de trabalho partirá, primordialmente, de uma pesquisa e análise bibliográfica sobre o tema, de onde se tentará tirar outros pontos de vista e criar novas perspetivas. Seguidamente, assentará essencialmente por uma análise *in situ*, nomeadamente no Algar do Pena e nas suas redondezas, a fim de estabelecer padrões e linhas gerais para esta investigação; será feito, também, todo um levantamento por métodos de deteção remota, através de fotografia aérea, imagens de satélite e ortofotomapas e, com suporte de *software* SIG, através da

análise de MDT (Modelos Digitais de Terreno) e de vários *hillshades*, de modo a identificar os diferentes alinhamentos tectónicos, como levantamento regional e descritor da superfície envolvente à gruta. No interior da gruta, serão feitos levantamentos dos principais alinhamentos e da dispersão de espeleotemas; para este tópico será feito um levantamento topográfico complementar à informação já existente da topografia da gruta, com recurso a telémetro ótico de precisão centesimal, como forma de marcação tanto de alinhamentos como dos espeleotemas adjacentes na vertical dos azimutes obtidos. Tentaremos, também, com apoio fotográfico, fazer a marcação dos principais alinhamentos de estalactites, bem como da localização de estalactites individuais, passíveis de interesse para este estudo. Por fim, será importante efetuar a construção de um esboço geomorfológico do interior da gruta, tendo em consideração as formas, depósitos e estruturas observáveis no local, que possa servir de referência a aperfeiçoamentos futuros.

### **1.3. Área de Estudo**

A área de estudo, a partir da qual se fará o enquadramento geral do Algar do Pena, corresponde às folhas nº 317 (Alcobaça), 318 (Mira de Aire – Porto de Mós), 327 (Benedita – Alcobaça) e 328 (Alcanena - Santarém) da Carta Militar de Portugal na escala de 1:25000, enquadradas dentro das folhas nº 26B (Alcobaça), 27A (Vila Nova de Ourém), 26D (Caldas da Rainha) e 27C (Torres Novas) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000.

A área de estudo integra-se na área dos concelhos de Alcobaça, Porto de Mós, Alcanena e Santarém, e ínfimas partes dos concelhos da Nazaré, Batalha, Rio Maior e Caldas da Rainha (fig. 1). Por sua vez, o Algar do Pena enquadra-se no setor NW do concelho de Santarém, no lugar de Vale do Mar, numa zona marcada por uma paisagem característica em relação à envolvente: a presença de numerosas pedreiras de extração de calcários para fins industriais e ornamentais.

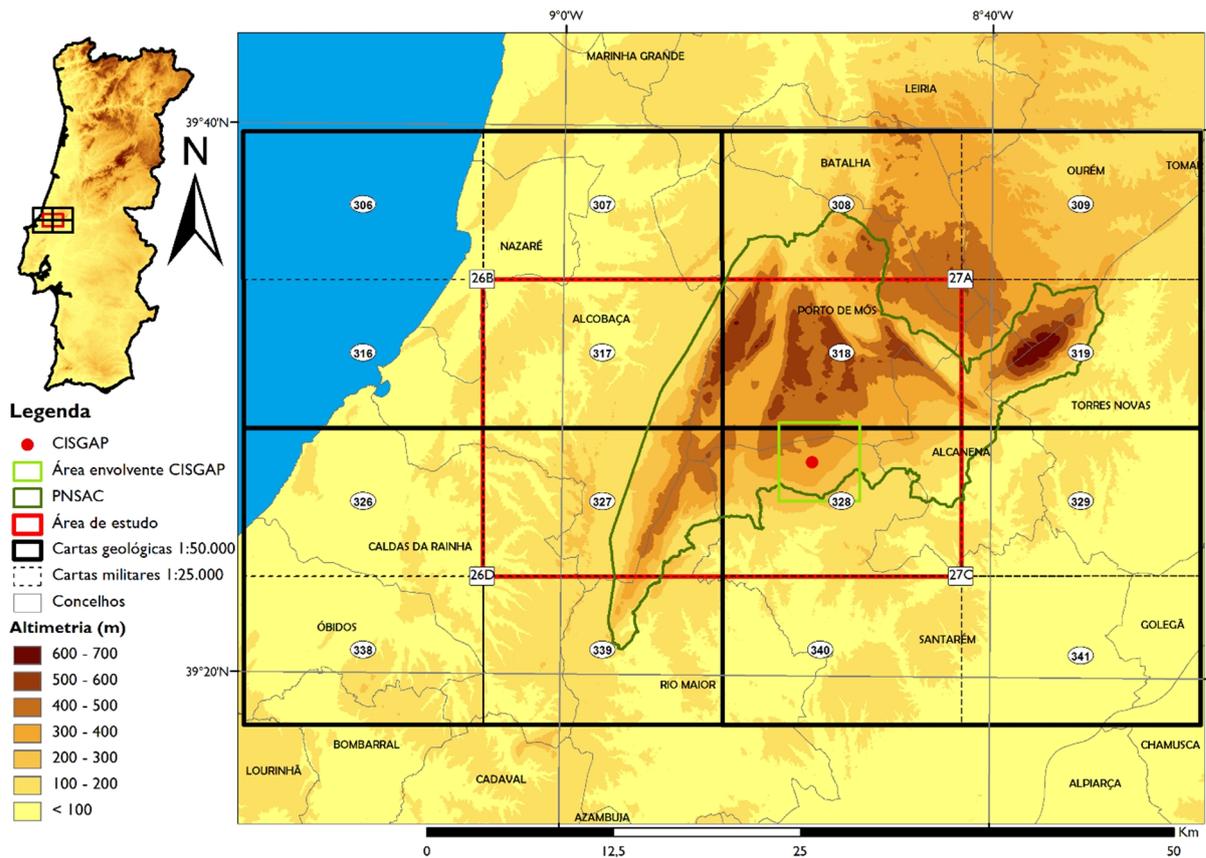


Figura I - Mapa de enquadramento da área de estudo.

Em termos gerais, a área em estudo corresponde à bordadura Sul do Planalto de Santo António, dentro do Parque Natural da Serra de Aire e Candeeiros, em que se contabilizam cerca de 1500 grutas conhecidas e exploradas, todas elas com as mais diversas formas e características, adaptadas ao substrato rochoso e ao tecido estrutural que lhes é inerente. No final do Capítulo II, dar-se-á o enfoque a uma área mais específica em torno do Centro de Interpretação Subterrâneo da Gruta do Algar do Pena (CISGAP), representada por cartografia adequada.

#### 1.4. O conhecimento sobre o Carso em Portugal e no Mundo

“Carso” é a palavra usada para descrever um conjunto interessante de formas terrestres e seus processos de formação. A palavra de origem germânica (Karst), do esloveno *Kras* (vem de *Kara* ou *Gara*, que significa “pedra”), é uma referência a uma região calcária na Eslovénia e Itália, que assim foi nomeada por ser estéril, onde a vegetação era praticamente inexistente. Foi lá que as descrições científicas tiveram primeiro impulso, desde logo a adaptação enquanto arquétipos para outros locais no globo. Muitas outras línguas têm as suas próprias

terminologias, embora a comunidade científica tenha adotado a terminologia “Karst” para designar as formas de terreno que podemos encontrar na planície de *Kras* ou noutras zonas de semelhante formação.

Seguindo as palavras de um dicionário de termos geográficos, refere-se que um domínio calcário é entendido como “uma região calcária na qual a maioria do escoamento ou o seu todo é feita por canais subterrâneos, sendo a superfície seca e estéril (...) O carbonato de cálcio no calcário é retirado pela dissolução [da rocha], e apenas o material insolúvel é deixado para criar uma cobertura sobre a rocha; o solo é, por conseguinte, geralmente de espessura mínima, e a superfície apresenta-se completamente despida, à exceção dos vales, onde uma maior profundidade de resíduos de dissolução se pode vir a acumular; na região cársica dos Alpes Dináricos [Balcãs], onde este tipo de paisagem é particularmente bem desenvolvida, os rios estão ocultos, à exceção dos locais onde o teto de uma gruta colapsa, dando origem a sumidouros. A água precipitada naquele tipo de regiões tende a desaparecer de imediato para vias subterrâneas, e é pela dissolução do calcário por aquelas águas, antes e depois de se perder em profundidade, que se dá origem à topografia irregular da região – a topografia tipicamente cársica. Também, muitas das pequenas ravinas e vales, acabam subitamente naqueles locais em que a água se perde para grutas ou quaisquer locais subterrâneos” (Moore, 1949). Portanto, neste pequeno dicionário de bolso, é feita uma descrição muito paisagística de um modelado cársico. Fernandes Martins (1949) aborda a terminologia como uma descrição das formas de modelado encontradas, sendo pelos imensos desertos de pedras, pela constatação de ausência de escoamento superficial, que abunda em profundidade e se constata nos caudais das várias exurgências no Maciço Calcário Estremenho, pela existência de grutas, pela formação de inúmeras depressões fechadas, pela existência de parques e descontínuos solos ou manchas de vegetação, pela predominância de vertentes abruptas construídas por imunidade cársica, em suma, toda uma panóplia de formas e processos que se encontram no modelado cársico. Outros autores são mais simplistas, e vão mais ao cerne da questão, focando-se no seu dinamismo interno: “o sistema cársico é um sistema integrado de transferências de massa em rochas solúveis, com uma estrutura permeável dominada por condutas, dissolvidas da rocha, e organizadas para facilitar a circulação de fluidos” (Klimchouk et al., 2000)

No seu sentido lato, Carso é o termo usado para descrever “um estilo especial de paisagem contendo grutas e extensos sistemas fluviais subterrâneos que se desenvolvem em rochas especialmente solúveis, como sendo o calcário, mármore e gesso. O Carso pode, as-

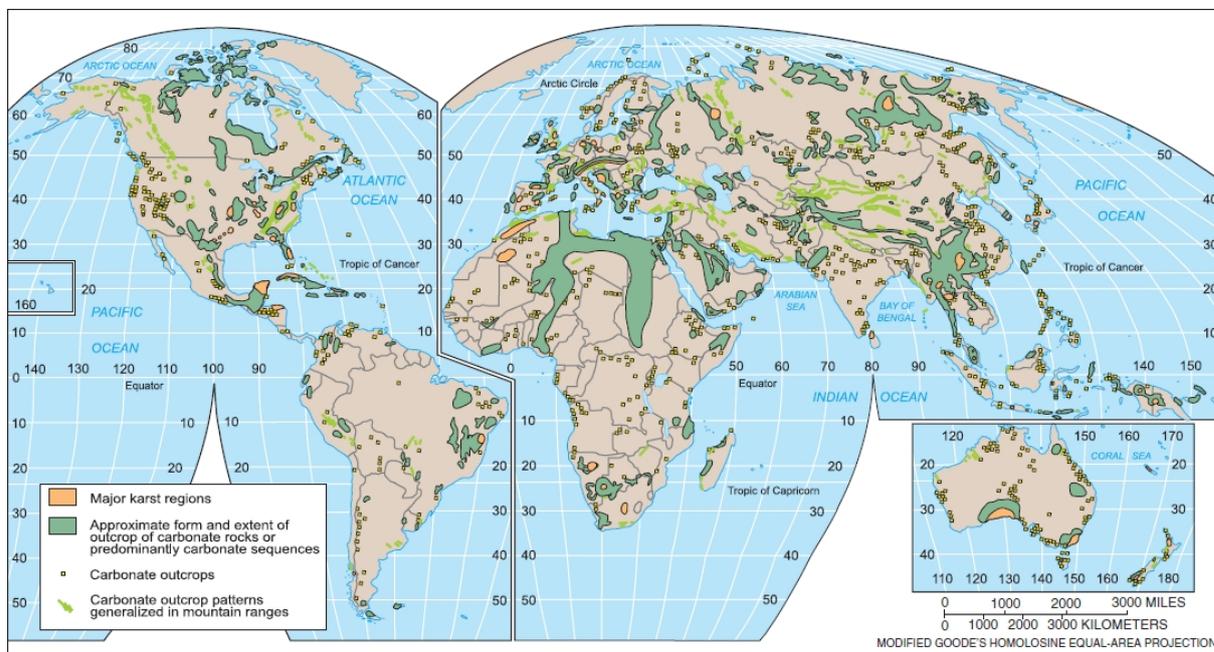
sim, ser visto como um sistema aberto composto por dois subsistemas estreitamente integrados, sejam um hidrológico e outro químico, operacionais sobre rochas cársicas. As feições cársicas acima e abaixo da superfície são produto da interação dos processos nestes subsistemas interligados” (Ford & Williams, 2007)

Genericamente, o Carso é entendido em termos paisagísticos como um “deserto de pedras”, o que se traduz pela ausência de escoamento superficial, uma vez que o escoamento se perde em profundidade, vindo-se por vezes a surgir à superfície em exurgências. Deste modo, caracteriza-se pela existência de grutas por onde circula (ou circulou) essa água perdida em profundidade, na paisagem verifica-se a tendência para a formação de depressões fechadas, sejam dolinas ou *poljes*, denota-se uma rarefação e descontinuidade dos solos e da vegetação, veem-se vertentes abruptas (por imunidade cársica, isto é, a água não atua na modelação das vertentes, como sendo baixas taxas de erosão mecânica em consequência de ausência de escoamento hídrico na superfície cársica), como as fornias ou canhões cársicos. É por outro lado, um modelado de terreno muito associado à tectónica, a falhas e fraturas; por outro lado, e complementando o anteriormente dito, é um relevo formado de rochas de elevada solubilidade e uma porosidade secundária (por fraturas e planos de estratificação) bem definida (Ford & Williams, 2007).

No entanto, para uma paisagem calcária evoluir e possuir características cársicas, deve reunir condições muito específicas, tais como o próprio calcário que deve reunir cerca de 80% de carbonato de cálcio para que os processos químicos de dissolução ocorram eficientemente, deve assumir padrões complexos dos planos de estratificação e fraturas (requisitos para a água formar vias para os canais de drenagem subterrânea), bem como uma zona em contacto com o ar entre a superfície do solo e do lençol freático. Uma cobertura vegetal é de igual modo requisito para fornecer ácidos orgânicos que permitam o processo de dissolução da rocha (Ford & Williams, 2007).

Segundo Christopherson (2011), cerca de 15% do território planetário tem relevo e formas cársicas, o que não deixa de parte Portugal, que com apenas 5% do seu território continental correspondente a áreas cársicas, deu origem a alguns dos trabalhos científicos importantes sobre este tipo de paisagem, citando-se nomes como E. Fleury (1915, 1917, 1925) ou Alfredo Fernando Martins (1949), bem como José António Crispim (1995), Lúcio Cunha (1990) ou Maria Luísa Rodrigues (1988, 1998). Assim, estes 5% de território veem-se cercados de interesse científico, pela busca das suas potencialidades naturais, sociais e culturais, bem como pelo modo como a ocupação humana se tem feito sentir nestes espaços, invocando a

perspetiva histórica e adaptá-la à atualidade. Não deixa, também, de ser um domínio de importante valor, nomeadamente pelos recursos minerais, hídricos e paisagísticos, mas também de problemas de que a ocupação humana tem principal culpa, destacando-se problemas ambientais e ecológicos.



**Figura 2** - Paisagens cársicas e regiões calcárias do mundo (Christopherson, 2011)

As zonas calcárias de Portugal Continental encontram-se nas Orlas Sedimentares, que tiveram a sua formação durante as eras do Mesozoico e Cenozoico, onde se foram acumulando outros materiais, provenientes tanto do Maciço Hespérico como associados aos processos de evolução do litoral. Temos em destaque nas Orlas as serras calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere, o Maciço Calcário Estremenho, Monsanto e grande parte do Barrocal Algarvio, que por força de movimentos tectónicos foram soerguidas.

Os domínios calcários são também objeto e ponto de partida de aspetos ligados à cultura e à religião, isto é, é nos domínios calcários que a religião ainda se faz sentir mais fortemente nos dias de hoje, como é o caso de Fátima e do seu santuário sitiado numa enorme dolina, ou a Senhora da Aparecida no Brasil; também a nível cultural, inspira inúmeros artistas a materializá-los através das mais diversificadas obras de arte. A título de exemplo da literatura anglo-saxónica, John R. R. Tolkien, para além de um grande escritor e pai de todo um mundo de fantasia que Peter Jackson veio a adaptar ao cinema, é também um grande geógrafo sem porventura saber que o fora: todo o mundo de “O Senhor dos Anéis”, dos mundos da Primeira Era que relata em “O Silmarillion”, entre outras obras da mesma ideia de pensamento, tiveram como inspiração na maioria das partes a paisagem calcária do Oeste Irlandês, na zona do

Burren. Foi, também, a partir dos seus passeios por lá que o seu fascínio pelas grutas levou, segundo os seus mais fiéis seguidores e estudiosos, a uma das personagens principais adquirir o nome de uma delas, pela transformação do nome em Gaélico arcaico “Poll na gColm” para “Poll na Gollum” no Gaélico atual, nome atribuído a uma gruta denominada “Cave of the Rock Dove”, da mesma região. Assim, Tolkien trouxe-nos, pela literatura, uma imagem muito séria das paisagens que observava, que tão claras de entender, transparecem aos dias de hoje em obras de arte cinematográficas. De acordo com *The Tolkien Society* a sua paixão pelas paisagens calcárias levavam-no mesmo a escrever rascunhos e cartas endereçadas a familiares e amigos sobre a magnificência destas “paisagens lunares”, em que quase se consegue ver Tolkien a dar uso à imaginação e a descrever os vigorosos lapíás em mesa como algo fruto de uma criação divina.

A fim de se entender os domínios cárscicos, e em particular, as suas cavidades, é importante discriminar os fatores que lhes dão origem, as formas associadas e a sua importância. Segundo a União Espeleológica Internacional, uma gruta é definida como uma “abertura natural subterrânea que é suficientemente ampla para o acesso humano”; embora lhe valha o mérito, não se trata de uma definição genética. Uma gruta calcária, geneticamente, define-se como uma abertura construída pelo processo de dissolução ocorrido ao longo de fissuras ou em planos de estratificação. Assim, define-se como gruta a cavidade que alcance um diâmetro entre 5 a 15 mm, o que permite que a água passe dum fluxo laminar a um fluxo turbulento, fluxo este que impulsiona o crescente alargamento da mesma. Uma gruta pode-se desenvolver tanto na horizontal como na vertical, quer por movimentos ascendentes que por movimentos descendentes de fluidos (Ford & Williams, 2007).

Entre os principais fatores que condicionam o desenvolvimento de grutas, entendem-se: a porosidade primária, isto é, a maior ou a menor quantidade de vazios de uma rocha; as características litológicas, a título exemplo a presença de calcário “puro” ao invés de um calcário gresoso ou margoso; a presença de elementos tectónicos, como diáclases, falhas, dobras ou diferentes direções e inclinações dos planos de estratificação; diferentes elementos sedimentológicos, como a espessura das camadas ou as próprias estruturas sedimentares; o tipo de recarga hídrica, ou seja, a periodicidade e a intensidade da recarga; os fatores climáticos, importantes no que refere à maior ou a menor disponibilidade de água, condicionantes da atividade biológica no solo, bem como da temperatura da água que circula no sistema subterrâneo (Ford & Williams, 2007).

Deixando de parte os fatores que condicionam o desenvolvimento das grutas, há também um conjunto de processos e mecanismos que lhes dão origem. Entre eles reconhecem-se: a ação das soluções aquosas com capacidade de exercer dissolução química sobre rochas carbonatadas, voltando a depositar o carbonato de cálcio sob a forma de concreções (espeleotemas); a ação das águas, enquanto agente erosivo mecânico no caso dos leitos dos rios subterrâneos, bem como pelo transporte e deposição de sedimentos; a ação da gravidade e da erosão à superfície, determinando o abatimento do teto e das paredes de cavidades preformadas; a ação de reações de tipo microbiológico, determinantes tanto da dissolução como da precipitação de carbonato de cálcio; a ação corrosiva das águas de condensação, processo este bastante considerado nas novas teorias espeleogenéticas por se tratar de um processo bastante ativo nas últimas fases de desenvolvimento de todas as grutas cárnicas (Fairchild & Baker, 2012).

Por sua vez, a tectónica enquanto fator mecânico era vista no processo cársico como um condicionador estrutural passivo, o que mais tarde se veio a verificar ser uma ideia errada. Tratando-se de um sistema aberto (transferência de matéria e de energia), a rocha calcária vê-se sujeitas a compressões e a descompressões tectónicas (sob a forma de energia), que com a submissão a um fluxo, neste caso a água, definem o carso como uma rede de microfaturas sujeitas a constante evolução, definindo pontos de entrada e saída de matéria (Iurilli, 2007). Sendo a tectónica definida como uma entrada de energia no sistema cársico, é definida como um fator morfogenético ativo, que se traduz aquando de um soerguimento do relevo, passando-se a verificar um incremento de energia potencial pelo desnível ao longo de um percurso hídrico; enquanto ação morfogenética, a ação da tectónica verifica-se pela deformação e fraturação da massa rochosa, pondo-se em evidência a energia mecânica por si incrementada. Assim, a tectónica predispõe a espeleogénese, tendo um papel importante também no desenvolvimento das redes de drenagem subterrâneas, e por conseguinte, na circulação de água (Iurilli et al., 2009, *apud* Knez, 1998) no interior de um maciço carsificado.

## **1.5. As grutas**

As grutas são vistas, talvez, como as formas cárnicas melhor conhecidas, ainda que, em termos quantitativos, ocupem apenas uma pequena porção da massa calcária, sendo nada mais que condutas de transporte de água e solutos entre as proximidades da superfície (*input*) e um ponto inferior de vasão (*output*). Estas formam-se ao longo de linhas de fragilidade na

rocha, como diáclases verticais e planos de estratificação, sendo também o seu desenvolvimento controlado pelo gradiente hidráulico. Em calcários mais impermeáveis, a ação mecânica da água faz-se sentir essencialmente ao longo de linhas de fragilidade, enquanto em calcários mais porosos, a água desloca-se pelo aproveitamento da porosidade da própria rocha, abrاندando o desenvolvimento das cavidades (Trudgill, 1985).

As grutas são produto de atuação de fluxos concentrados de água, que atuam sob a forma da ação mecânica e/ou química. Assim, em carbonatos mais solúveis, esses fluxos concentrados levam a um alargamento de canais de escoamento, definindo-se fluxos preferenciais; deste modo, as grutas são parte integrante de redes de fluxos de água, pelo que uma gruta nunca se pode considerar isolada dentro dum maciço rochoso. Inicialmente, a presença de aquíferos verifica-se essencialmente nos interflúvios, abaixo do nível de gradiente hidráulico, pelo que nos fundos de vales se podem verificar nascentes ou exurgências, que variam de intensidade conforme maior ou menor disponibilidade hídrica (ex.: Olhos d'Água do Alviela, MCE, fotografia 1).



**Fotografia 1** - Os Olhos de Água do Alviela (18/04/2014), local de encontro do rio Alviela com a ribeira dos Amiais.

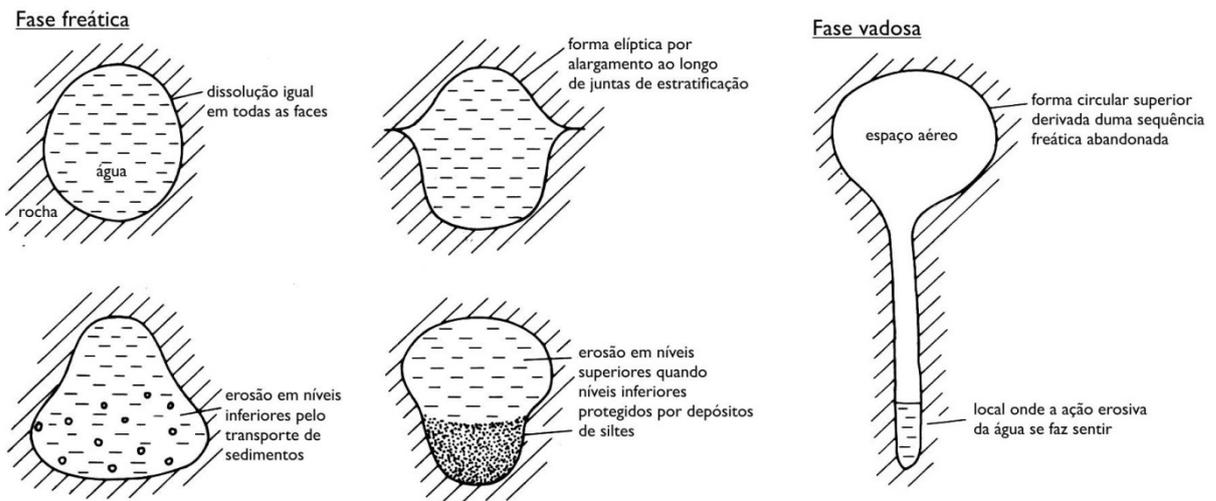
As cavidades supra definidas distinguem-se pelo seu desenvolvimento: algares na vertical, e lapas na horizontal. Os algares, de forma cônica invertida, podem-se encontrar debaixo

de dolinas, que com a contínua dissolução da rocha proporcionada pelos sedimentos acumulados à superfície, leva a um forte alargamento da cavidade, podendo resultar mesmo em desabamentos e criar verdadeiras aberturas para a superfície, criando por vezes situações de risco para a vida humana, ou mesmo para bens materiais (Salomon, 2006).

As galerias são formas mais ou menos horizontais, e podem tanto ter um funcionamento ativo como fóssil, e por trás do seu desenvolvimento horizontal estão fatores como os planos de estratificação fracamente inclinados, ou mais notável ainda, a curta diferença de cotas ao longo destas, transmitidas pelo suave declive ao longo do seu perfil, verificável essencialmente quando em planaltos cárnicos (Salomon, 2006).

Para entender a génese das grutas tem grande importância entender qual seria o paleoclima (possível de verificar em depósitos no interior da gruta). Isto é, num clima dum região como a nossa, sabendo que tem evoluído ao longo do tempo e que já teve, por exemplo, influências glaciares, influenciou claramente os níveis de base freáticos dentro dos maciços calcários, o que, conjugado com o jogo tectónico, define diferentes sequências de desenvolvimento de grutas. Estas sequências, segundo diferentes autores, definem-se como condições freáticas e vadosas (Trudgill, 1985), ou como freáticas, epifreáticas, e vadosas (Salomon, 2006).

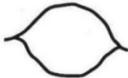
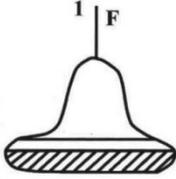
Trudgill (1985) traz-nos uma esquematização sumária das fases de construção e desenvolvimento das grutas. Tendo em conta os fatores de dissolução, da presença de material produto da erosão e dos planos de estratificação, define-se a fase freática, por onde as condutas plenas de água adquirem um perfil próximo do circular ou do elítico, e condicionado por estes fatores, vão alargando uniformemente em toda as suas faces. Com o progressivo abaixamento do gradiente hidráulico, a água tende a descer e a deixar o espaço superior em contacto com o ar, passando aquelas que seriam condutas freáticas a condutas em fase vadosa. Trudgill refere que a mecânica de fluidos numa conduta cheia de água e sem interferência atmosférica, condiciona um fluxo forçado de água e sob pressão a movimentar-se mais lentamente, que a partir do momento que haja a intrusão de ar, essa pressão perde-se e o fluxo ganha maior velocidade, definindo-se um regime vadoso, com uma movimentação teoricamente normal, tal como aconteceria à superfície. Na fase vadosa, e de acordo com a figura 3, a água tende a erodir a rocha de acordo com as leis da gravidade, deixando para cima um espaço aéreo abandonado, concentrando-se toda a erosão no espaço inferior, onde a presença de partículas detríticas na água é maior, traduzindo-se numa maior ação química da água e num progressivo depósito destes a cotas inferiores, com tendência a arraste em profundidade.



**Figura 3** - Tipos de cavidades segundo fases freáticas e vadosas. (Trudgill, 1985, adaptado),

No entanto, Salomon acrescenta que na zona freática permanente, a corrosão é o processo dominante, e que este processo pode levar a dois tipos de escavação: singenética e paragenética. Tal e qual como para o outro autor, a escavação e alargamento fazem-se uniformemente pelas faces interiores (singenéticas), ou pelo aproveitamento de discontinuidades na rocha; no entanto, são condutas características por apresentarem paredes lisas ou com sulcos característicos da movimentação de água, com perfis circulares ou elípticos. No chão da cavidade, o fluxo de água pode criar formas como “marmitas de gigante”, resultado tanto da dissolução como da presença de “turbilhões” derivados de sulcos na rocha, que se podem encontrar igualmente à superfície, ou mesmo noutros materiais litológicos, como por exemplo nos granitos ou nos quartzitos. No caso da escavação de grutas do tipo paragenético, a circulação faz-se mais lentamente e permite o depósito de sedimentos, uma vez que tal colmatação progressiva obriga a água a se deslocar pelas faces laterais, corroendo com maior intensidade a abóbada da conduta.

É essencialmente na zona epifreática que se desenvolvem essencialmente as galerias (horizontais), pela ação da corrosão e da erosão mecânica, e as suas formas dependem da flutuação dos níveis de água (de acordo com o regime hídrico) no seu interior; assumindo-se teoricamente que há equilíbrio, as paredes das galerias são sub-verticais, mas se tal equilíbrio se rompe e as flutuações são fracas, a água tende a alargar a galeria pela sua base (Salomon, 2006). Associado a estas mudanças no equilíbrio, é possível verificar-se a presença de degraus nas margens dos pontos mais baixos das galerias, por onde entre elas circula mais baixo um curso de água, ou vestígios de um antigo leito dele (semelhante ao caso C2 da figura 4). De qualquer das formas, a maior ou menor energia no fluxo de água determina as formas nas paredes, chão e/ou teto, tanto pelas formas de erosão mecânica ou química.

<b>A</b> <b>Fase freática</b>	1	2	3
Estruturas singenéticas			
<b>B</b> <b>Fase freática</b>	1	2	3
Estruturas paragenéticas			
<b>C</b> <b>Fase vadosa</b>	1	2	3
Incisão e aprofundamento			

**Figura 4** - Esquematisação dos perfis das condutas de acordo com as diferentes fases, e suas secções transversais (Salomon, 2006, adaptado).

**A1** – rocha homogênea, galeria elíptica; **A2** – ao longo de uma junta de estratificação, galeria rebaixada; **A3** – ao longo de uma diáclase.

**B1** – galeria em teto em semitubo; **B2** – galeria rebaixada e em parte obstruída; **B3** – galeria com colapso de abóbada,

**C1** – galeria de rio subterrâneo; **C2** – galeria com depósitos de terraço; **C3** – galeria entalhada em canhão.

Impostos todos estes fatores condicionantes, acima de quaisquer controlos hidrológicos está sempre o fator geológico. A frequência de fissuração, fraturas, juntas de estratificação e a resistência da rocha às erosões mecânica e química são fatores intervenientes para a forma das condutas quanto ao seu perfil, bem como pela sua distribuição no plano (em planta) e em longas secções (Trudgill, 1985).

Quanto às cavidades em fase vadosa, a escavação faz-se essencialmente na vertical, ou seja, a escorrência de água é do tipo turbilhonar, e a erosão que mais se faz sentir é a de tipo mecânico. Partindo do princípio que os processos erosivos precedentes alargaram suficientemente condutas e fissuras, um *input* maior de água aquando de episódios pluviosos extremos, pode trazer materiais abrasivos, como areias e cascalhos, para pontos mais profundos da rede subterrânea. Uma causa destes fenómenos é a presença de galerias estreitas e profundas, com processos de escavamento rápido e em cascata, dando origem aos canhões subterrâneos e às “marmitas de gigante” no chão. O fundo do canal e as suas paredes vão sendo escavadas, o que leva à definição de degraus limitantes ao curso de água. Os materiais arrastados em profundidade podem depositar-se e as várias fases evolutivas dos fluxos podem originar mesmo

níveis de terraço no interior da gruta, muito semelhantes aos que acompanham os cursos de água à superfície.

Durante a transição da fase freática para a fase vadosa, as passagens tubulares escavadas por um curso de água na sua parte basal, apresentam um perfil em fechadura, devido a um aprofundamento progressivo, por força da energia essencialmente mecânica da água. Esta evolução não é súbita, mas pode evoluir verificando-se que as diáclases no chão vão sendo progressivamente exploradas e alargadas sob a influência dum gradiente hidráulico, controlado pela subida ou descida do nível de base das águas. No entanto, com esta incisão, a rede de condutas vê alguns dos seus membros abandonados, podendo-se evidenciar no teto indícios da fase freática, quer seja por situações de meio-tubo na abóbada da conduta<sup>1</sup> ou formas em *ripple*, resultantes da erosão por uma corrente de elevada dinâmica.

Nas paredes das condutas também se pode notar a presença de várias formas esculpidas pelos mais diversos fatores, testemunhas da fase freática, nomeadamente *scallops*<sup>2</sup>, e formas associadas à abrasão, dissolução ou energia mecânica.

Se as heterogeneidades na rocha são importantes na formação de *scallops*, também a estratigrafia é importante influência na forma e no modo como a erosão se faz nas faces das condutas, nomeadamente aquando da existência de juntas de estratificação. Por outro lado, as variações na estrutura da rocha são os pontos de partida para a definição de uma maior ou menor erosão, pelo que num calcário conglomerático e gresoso a erosão mecânica se faz sentir mais fortemente do que num calcário puro e maciço; tais fatores são definidores na construção de condutas, bem como influenciadores na transição de uma fase freática para uma fase vadosa (Trudgill, 1985).

Condicionantes importantes dos processos erosivos no interior das grutas e nas suas condutas, são também os sedimentos e materiais transportados pela água, tanto os oriundos da superfície como os que são produto da erosão no espaço subterrâneo. A influência destes materiais transportados nos processos erosivos depende da origem, quantidade, tamanho e velocidade dos fluxos de água, pelo que, tal e qual como à superfície, a quantidade de materiais arrastados e em suspensão na água é menor num fluxo lento e maior num fluxo rápido; num fluxo lento, o processo erosivo dominante é a dissolução; num fluxo rápido, a abrasão é proporcionada pelos materiais em suspensão, bem como, sobretudo, pela considerável carga de

---

<sup>1</sup> Da mesma forma que acontece no chão das condutas para as “marmitas de gigante”, também surgem turbilhões no teto das condutas cheias de água que podem dar origem a sulcos.

<sup>2</sup> Formas em concha nas paredes das condutas, resultado essencialmente da dissolução.

fundo. Combinados estes processos, a erosão atenua-se nos pontos mais altos das condutas, sendo mais significativa a erosão basal e lateral.

As grutas, num sentido genético, deverão ser entendidas como as incubadoras de espeleotemas (Fairchild & Baker, 2012), sendo estes o resultado das trocas de energia e massa da água que ocorrem dentro das grutas. Numa gruta sedimentam-se depósitos de vários tipos, onde se contam os de tipo clástico, orgânico, químico e pela ação da neve e do gelo. Entre os de tipo clástico contam-se os crioclastos e todos os sedimentos, areias ou detritos oriundos tanto da superfície como por colapsos no interior da gruta, bem como aqueles depositados por força hídrica, aquando de grutas de passagem de rios subterrâneos ou grutas na linha de costa. Entre os de tipo orgânico apontam-se aqueles que se encontram no interior da gruta porque para lá foram transportados, isto é, por força dos elementos ou da locomoção, lá acabaram depositados, como ossadas de animais, sementes de plantas, excrementos animais ou, por ação antrópica, restos de cinzas, de madeiras, objetos e utensílios, aplicável a toda uma escala de tempo histórica. Quanto aos de tipo químico contam-se os espeleotemas, originados pela precipitação do carbonato de cálcio na água, contam-se também os filões de minerais que se desenvolvem nos espaços livres da rocha como cimentos minerais, e as pisólitas, rochas compostas por várias pequenas rochas concêntricas compostas de carbonato de cálcio ou outros minerais (alguns raros), cimentadas numa só. Por fim, aqueles criados pela ação do gelo, são também os espeleotemas (frequentemente danificados ou a crescer fora do seu normal desenvolvimento vertical), crostas de calcite sustentadas pelo gelo antes de este derreter, originários dos precipitados do gotejo de água, bem como depósitos de condensação (Fairchild & Baker, 2012).

As grutas são verdadeiros repositórios de informação de tempos passados, no que refere a episódios climáticos e tectónicos, evidenciados nos depósitos que nelas surgem (terraços, intercalações de materiais, chãos estalagmíticos, etc.) ou pelos materiais quebrados (colunas, estalagmites, estalactites, caos de blocos, etc.), respetivamente, que tanto servem de indicadores de outras formas e evolução da gruta, como de paleoambientes. Também os restos mortais de animais ou plantas, ou mesmo do Homem pré-histórico, são importantes vestígios de episódios antigos.

Também os depósitos de origem interna muitas vezes se intercalam com os anteriores. Estes são facilmente evidenciáveis na morfologia interna da gruta através da deposição dos mantos estalagmíticos sobre eles, sejam resultado de abatimento do teto, sejam dos fluxos de detritos proporcionados pela gravidade à medida que a cavidade vai alargando. Estes depósitos

constatam-se pela maior ou menor suavidade da cobertura estalagmítica sobre eles, conforme o maior ou menor declive. Ambos, muitas vezes, se veem intercalados em materiais finos e gresosos, que dada a fraca consistência dos materiais plásticos em que se integram, levam a deslizamentos de toda a estrutura coberta por um manto estalagmítico, quando o peso excede a capacidade de atrito de toda a massa.

A existência de depósitos exteriores, que não de origem fluvial, é também de considerar como importante. Estes depósitos podem ter influência de paleoclimas e ser, por exemplo, o resultado do destacamento de fragmentos de rocha por ação da crioclastia, acabando depositados nas cotas inferiores de maior estabilidade. Estes podem atingir algumas dezenas de metros de espessura, por vezes intercalados numa matriz argilosa ou em camadas, com uma estrutura mais ou menos homométrica, tornando-se verdadeiros indícios do período frio que lhes deu origem, transmitindo a sua estrutura as fases de maior ação crioclástica ou de alterações pontuais no clima que lhe inferem intromissões de argila.

Encontram-se também depósitos de origem orgânica, de onde se contabilizam os depósitos organofosfáticos, como o guano de pássaros e/ou morcegos, principais agentes acidificantes em certos locais no interior das grutas; pedaços de fauna e flora, como os restos mortais de animais ou plantas; as influências antropogénicas e pré-históricas, como pedaços de carvão de fogueiras ou de outros materiais trazidos para o interior da gruta (Fairchild & Baker, 2012).

## **1.6. Os espeleotemas**

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer o que são os espeleotemas, qual a sua génese e como funcionam, bem como a sua importância enquanto indicadores de modificações ambientais.

Os espeleotemas, maioritariamente resultado dos processos do gotejo de água por força da gravidade, desenvolvem-se pela precipitação do carbonato de cálcio conforme a maior ou menor disponibilidade de água e do seu conteúdo em  $\text{CO}_2$ . Para que os espeleotemas se desenvolvam são necessárias condições muito específicas. Primeiramente, qualquer cavidade formada pela ação química da água, necessita da presença de espaço livre de água para que os espeleotemas tomem lugar; movimentos tectónicos ou mudanças climáticas que permitam o abaixamento do nível base e, conseqüentemente, do nível de água no interior da gruta, ajudam a criar as condições para que se dê o crescimento de concreções. Estando definidas condições

para a concreção e que se dê a precipitação do excesso  $\text{CO}_2$  da água, é o último passo para que os espeleotemas comecem a se desenvolver.

A propósito das teorias genéticas dos espeleotemas, foram criados alguns modelos explicativos. Segundo o modelo desenvolvido por Dreybrodt (1980), considera-se a formação de uma estalagmite a partir dum constante fornecimento de água por gotejo sobre uma superfície estalagmítica plana, precipitação essa feita por um fino feixe de água pendente da ponta de uma stalactite. As gotas de água estão saturadas de bicarbonato de cálcio, e vão-se lentamente libertando de  $\text{CO}_2$  até que a sua concentração iguale a concentração desse gás na atmosfera da gruta. Com essa lenta deposição de  $\text{CO}_2$ , a precipitação de calcite ocorre segundo a seguinte reação:



Foram identificados quatro processos potencialmente limitantes das taxas de precipitação de carbonato de cálcio no modelo (Fairchild & Baker, 2012):

1. A difusão de moléculas de  $\text{CO}_2$  na solução;
2. A difusão de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{CO}_3^{2-}$  na solução;
3. A deposição de  $\text{CaCO}_3$  na superfície sólida;
4. A produção de  $\text{CO}_2$  na superfície sólida

Concluiu-se que a partir dos quatro tipos de reações limitantes à precipitação de calcite, a produção de  $\text{CO}_2$  é determinante das taxas de crescimento e evolução de espeleotemas. Por sua vez, isto estaria dependente na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  da água, do feixe de água precipitado e da temperatura. Vários testes e modelos foram criados e aperfeiçoados nos anos seguintes, mas este foi o primeiro ponto de partida teórico para a explicação empírica dos processos de crescimento de espeleotemas.

No que diz respeito aos padrões de distribuição de espeleotemas, importa ter em conta condicionantes como a fissuração ou fraturação, o próprio epicarso<sup>3</sup> e os controlos ambientais à superfície (Ford & Williams, 2007). A falta de espeleotemas nas grutas pode ser devida a quatro fatores:

---

<sup>3</sup> Epicarso, ou zona epidérmica. Trata-se da “zona superficial da rocha cársica ou (...), a porção superior do carso profundo. Corresponde a uma zona pouco espessa, muito fraturada, em que a circulação de água se faz de forma relativamente difusa e em que a dissolução é muito ativa” (Rodrigues et al., 2007, pp. 71-72).

1) Por condutas recentes que testemunhem situações frequentes de inundações, não estando criadas condições para que se desenvolvam quaisquer espeleotemas, só surgindo quando tais inundações amenizem ou desapareçam;

2) Não haja dióxido de carbono suficiente nos solos do epicarso, não havendo água sobressaturada em CO<sub>2</sub> para que haja desgaseificação quando entra em contacto com a atmosfera do interior da gruta. Esta conta como uma explicação plausível para grutas encontradas em regiões alpinas, árticas ou semiáridas, onde a falta de solos bem desenvolvidos é a principal causa;

3) A presença duma rocha não carbonatada sobre as rochas carbonatadas, não permitindo a infiltração de água para níveis subterrâneos, bem como pode alterar a composição iónica da água, não permitindo precipitação de calcite.

4) Quando não há conetividade hidráulica entre o epicarso e as condutas, ou as conexões sejam captadas por galerias sobrepostas às condutas, absorvendo todos os precipitados. Embora seja raro encontrar-se uma gruta inteira sem ligações diretas com o epicarso, há condutas que podem permanecer desconectadas ou intercetadas em diferentes profundidades. Estas discrepâncias acontecem precisamente onde a fissuração no maciço carbonatado é bastante baixa.

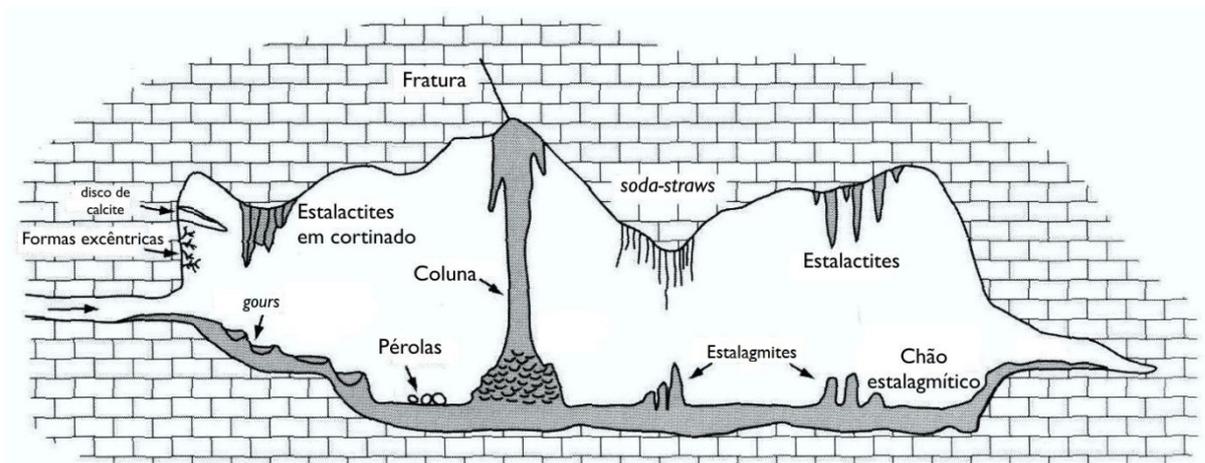
Abordando a existência de espeleotemas, e segundo a sua génese, Ford & Williams (2007) classificam-nos de acordo com vários princípios, como produto de precipitados.

Primeiramente, foca-se as *soda-straws* ou estalactites em palhinha, enquanto pequenos invólucros cristalinos, por onde corre um fino curso de água. Para a sua formação requer-se um *input* de água lento e constante, sem materiais orgânicos ou em suspensão para bloquear o fino canal, e dadas as suas características de fragilidade extrema, para se manter íntegro, requer um diâmetro mínimo de 5mm, ou conforme outros autores, um diâmetro mínimo entre 2 e 9mm<sup>4</sup>. As suas paredes são tão finas e sustentam uma pressão estável, necessária ao gotejar e integridade, que a mínima fuga faz com que a água arranje nova saída e a pressão se perca, tendendo a se abandonar a estalactite original, criar uma nova, e engrossar as suas paredes. Quanto a estalactites em geral, a rápida deposição no ou nos pontos de saída de água,

---

<sup>4</sup> Estes diâmetros mínimos, testados e teorizados por diversos autores (segundo Ford & Williams, 2007), foram apresentados como valores mínimos para uma estalactite *soda-straw* se aguentar, por força da gravidade e das tensões à superfície, que se repercutem no espaço subterrâneo, por mais mínimas que sejam.

podem-se criar protuberâncias na face exterior, adquirindo uma complexa variedade de formas, como crenulações, mísulas com *cortinas*<sup>5</sup>, ou estalactites subsidiárias, produto de um rompimento antecedente na jovem estalactite. As dimensões máximas das estalactites determinam-se, em teoria, pela força de fixação ao teto da gruta, pela resistência da rocha do teto, ou pela própria dimensão da gruta, pelo que “é raro de se ver estalactites maiores que 10m ou com diâmetros superiores a 1-2m” (Ford & Williams, 2007).



**Figura 5** - Principais concreções / espeleotemas numa gruta (Salomon, 2006, adaptado).

As estalactites em cortinas ou em bandeiras (fotografia 2) são formas que desenvolvem quando as gotas de água escorrem ao longo de uma parede inclinada inversamente, ou sobre uma estalactite afunilada, fazendo-se o seu crescimento ao longo da parte exterior, uma vez que a água não escorre apenas pelo canal interior; no entanto, não se desenvolvem em demasia, uma vez que o *input* de água se limita às partes inferiores. Aquelas que apresentam intercalações de cores são bastante comuns, influenciadas pela deposição de minerais e impurezas várias. Poder-se-á inclusive colocar a hipótese que tais intercalações poderão ser fruto de alterações no clima ou na tectónica local, permitindo à água trazer em suspensão tais impurezas.

<sup>5</sup> Também denominadas por estalactites em bandeira.



**Fotografia 2** - Estalactites em cortinas no Algar do Pena, mais commumente conhecidas por “fatias de bacon”.

Seguidamente, e resultado do gotejo das estalactites, formam-se as estalagmites e os chãos estalagmíticos. Estas correspondem a uma cobertura geral do piso das grutas, embora se espalhem tanto pelo chão como pelas paredes. Há três categorias de estalagmites:

1) Aquelas de diâmetro uniforme, que crescem única e exclusivamente na vertical, sem alargar pelos lados, criadas por um gotejar e uma concentração de solutos constante. Como afirmam Fairchild & Baker (2012), o diâmetro mínimo é de 3cm, e segundo outras teorias, os diâmetros variam conforme a idade. Complementando o que os mesmos autores afirmam, o diâmetro dum estalagmite aumenta conforme a altura de gotejo aumenta também, pois o efeito de *splash* é maior, ou o desagregar da gota de água espalha a água (e seus solutos) por uma área maior. Assim, é bastante comum encontrar-se estalagmites em castiçal<sup>6</sup>;

2) Estalagmites grossas, em terraço ou em mísula, por vezes com formas em ramificação, mas frequentemente assemelhadas a pratos empilhados ou a troncos de palmeiras (Ford & Williams, 2007). Entre cada uma destas formas que fazem parte do desenvolvimento vertical da estalagmite, há um pedúnculo que as separa, que está associado às variações periódicas no crescimento e na altura de gotejo, a qual contribui para um maior *splash*.

---

<sup>6</sup> Estalactites que se desenvolvem muito verticalmente em detrimento dum desenvolvimento horizontal, que tal e qual como um castiçal cheio de cera de velas derretidas, tem todo um conjunto de irregularidades em torno do seu ápice pelo efeito de *splash*, ápice este achatado e com reentrância devido ao forte impacto do gotejo.

3) Mais comuns, e imagem geral de qualquer estalagmite, são as cónicas ou afuniladas. Uns autores atribuíam a sua forma a um decréscimo nas taxas de crescimento, já Gams (1981) afirma que se trata dum incremento na altura de gotejo (Fairchild & Baker, 2012). O que se conclui atualmente é que se devem a uma significativa acumulação de calcite às camadas (ou também em membranas) ao longo dos seus lados. Algumas estalagmites sofrem influências tão características do microclima do interior da gruta, que podem desenvolver formas um tanto bizarras e raras, como as que mais se assemelham a árvores de Natal ou, em casos mais simples, tão altas e tão finas, como cabos de vassoura. Como já foi referido, são precisas condições muito específicas, entre os quais o próprio microclima da gruta e o funcionamento do seu regime que estão intrinsecamente interligados.

Os chãos estalagmíticos são formas de depósito típicas de um fluxo ou curso de água uniforme, que se vai agregando numa posição horizontal, e como tal são mais comuns no chão da gruta, ou nas paredes, aquando de continuação de estalactites, cortinas, entre outros, que atinjam as proximidades do chão. Estes são uma das formas dominantes nas grutas, e podem mesmo atingir algumas dezenas de metros de espessura. Laminação e presença de brechas veem-se com maior desenvolvimento nestas formas, e a sua estrutura pode ter intercalações de depósitos fluviais, periglaciares, estalactites quebradas, etc. São, em suma, as formas com mais informação de qualquer gruta, em que a agregação de materiais aparentemente soltos serve de indicador de recentes movimentações, que à escala das dezenas de anos os cimentam e os integra numa nova camada de chão estalagmítico.

Mais curiosos, e também mais belos, são os espeleotemas excêntricos. Não porque sejam extravagantes, mas, como diz a própria palavra, porque desafiam, no seu processo de evolução, as leis da gravidade (fotografia 3). Estes espeleotemas tanto podem crescer a partir de uma parede na gruta, bem como sobre outros espeleotemas ou outros depósitos, e o seu crescimento deve-se ao facto de os mecanismos de crescimento de cristais serem maiores que as forças hidráulicas da água em movimento vertical pela ação da gravidade; especificamente, implica que o fluxo de água que corre nestas formas excêntricas seja bastante lento de modo a que não formem gotas para precipitar (Ford & Williams, 2007, *apud* White, 1976). A sua origem poderá estar associada a influências microclimáticas, quer seja por pequenas variações da temperatura nas várias zonas da gruta, como por pequenas correntes de ar, por mais mínimas que sejam. A variedade destas formas é tão grande que se criaram duas tipologias: as helictites ou formas lineares e as formas em globo ou hemisféricas.



**Fotografia 3** – Um dos espeleotemas excêntricos em coral encontrado no Algar do Pena, no setor inferior da gruta.

Consideram-se quatro tipos de helictites: a) as filiformes ou em fio, entre 0,2-1mm de diâmetro, tanto de aragonite ou de calcite; b) as vermiformes, sinuosas e contorcidas, com bifurcações de lâminas de calcite de 1 a 10mm de diâmetro, e são as mais comuns de se encontrar, por vezes identificáveis como um emaranhado de calcite; c) as de aragonite, de forma frisada, que também se curva e bifurca; d) as semelhantes a galhos, que se desenvolvem em ramos muito mais angulares. Destes quatro tipos, a gênese é mutuamente comum. Todos possuem um tubo central, por onde a água se precipita no final, e a causa por trás da contorção são os vestígios de impurezas retidos na sua ponta, curvando o espeleotema. A ramificação deve-se ao bloqueamento criado pelo crescimento de cristais que se efetua durante períodos de estio, dando origem a desvios ou bifurcações do (ainda mais) ténue feixe de água. As condições de microclimas e condições hidráulicas bastante estáveis parecem estar por trás dos pressupostos ideais para estas formas se desenvolverem. E se esta estabilidade for quebrada, essencialmente quando se imponham condições climáticas adversas, estão criados os pressupostos para se originar deformação em vez de construção.

Semelhantes a estalactites excêntricas, também ocorrem estalactites que de certa forma desafiam a gravidade, como é o caso das “*spathites*” ou dos “*chapelets de boules*”, formas raras de *soda-straws* de aragonite, em que a mais fácil dissolução por vezes cria verdadeiros cogumelos invertidos ou flores de espinhos (Ford & Williams, 2007).

Quanto aos espeleotemas excêntricos (estalagmites) em globo ou hemisféricos, adquirem variadíssimas formas, e são mais comumente denominados de *corais*, *pipocas*, *globulites*,

*calcites botrioidais*, ou *boules*, na língua francesa. A sua ocorrência abrange tanto indivíduos isolados numa parede ou num espeleotema comum, como alinhamentos ou pequenas manchas destes, ou até mesmo grandes comunidades; estas comunidades podem ser bastante compactas e ter continuidade em profundidade, uma vez sofrem de contínua evolução vertical (Ford & Williams, 2007). A sua formação está associada à presença de microfaturas nas faces exteriores dos espeleotemas, por onde a água é expelida lentamente, evaporando e deixando os minerais para trás, permitindo a fixação e desenvolvimento de cristais e suas formas.

Seguem-se os pisólitos, ou as pérolas de caverna, que tal como as pérolas das ostras, têm a sua génese numa acreção radial (de calcite) em torno de um núcleo estranho, como por exemplo um grão de areia. Surgem e desenvolvem-se em charcos baixos constantemente agitados pelo gotejo de água, em comunidades que tanto pode ser na ordem da dezena, como das centenas, e tal suave agitação é quanto basta para que a acreção esférica de calcite em volta do núcleo se realize. As suas dimensões ideais andam entre os 0,2mm e os 15mm, e em cada charco há uma homometria comum, uma vez que se o núcleo for demasiado irregular, a acreção tende a fazer-se de igual modo em seu torno, o que só acontece em núcleos de maiores dimensões. O crescimento dos pisólitos exige um balanço delicado no *input* de água para dentro da gruta, pelo que se a água estiver em falta, elas poderão agregar-se e passar a ser o núcleo de uma nova estalagmite; se em demasia, acabarão por ser arrastadas para fora do charco onde se desenvolveram.

Os charcos onde os pisólitos se formam, podem ser também, e ao mesmo tempo, represas na rocha (fotografia 4), formas que se podem formar num chão estalagmítico ou em condutas percorridas por linhas de água. Os seus rebordos podem-se apresentar direitos, curvados ou crenulados. Podem se apresentar isolados, ou interligados numa verdadeira escadaria de charcos; são formas comuns em rios em domínios cársicos, em zonas onde se desenvolvam tufos calcários ou nascentes termais, mais conhecidos por travertinos (ex.: Pamukkale, Turquia). Estas barreiras formam-se em quaisquer irregularidades na rocha por onde corra um curso de água, e a sua presença é um bom indicador do funcionamento com sucesso da formação de espeleotemas em toda uma gruta. De facto, é nos rebordos que a precipitação de calcite se efetua com maior facilidade, uma vez que são bastante finos, que com o tempo tendem a engrossar de baixo para cima. Por sua vez, transições num fluxo de água, de turbulento para situações de enxurrada, pode ser motivante de acelerar o processo de desenvolvimento dos rebordos (Ford & Williams, 2007).



**Fotografia 4** - Represa de rocha abandonada ou *gour* junto a uma parede, setor inferior do Algar do Pena (fotografia de Olímpio Martins, adaptado).

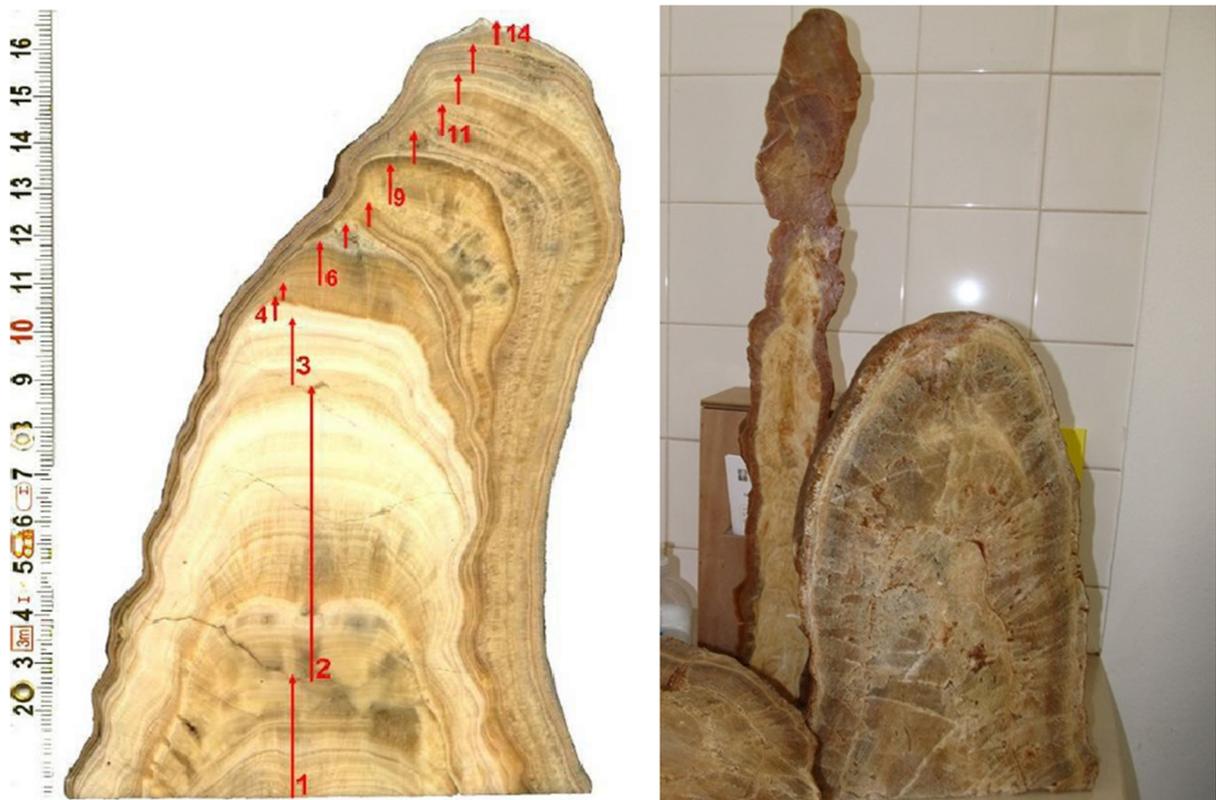
Tendo em conta os espeleotemas observáveis em qualquer gruta, foi definida uma classificação geométrica dos mesmos, estudada muito antes de se pensar em fazer qualquer modelo evolutivo de espeleotemas. V.C. Allison (1923) apresentou uma tentativa inicial de classificação das formas de espeleotemas, tendo-os agrupado em 32 tipos diferentes de formas. Este autor deduziu que o crescimento de estalagmites seria feito na vertical e de forma simétrica, tendo constatado alterações na sua formação conforme o efeito de *splash* das gotas de água, que lhe atribuíam formas em copo. Foram também de sua autoria as primeiras e raras observações no que se refere a taxas de crescimento de espeleotemas. No entanto, o seu trabalho falhara, atribuindo importância à evaporação enquanto fator genético principal, em vez do processo de libertação das moléculas de  $\text{CO}_2$  das gotas de água enquanto processo geoquímico chave.

Em 1965 veio-se constatar por outro autor (Fairchild & Baker, 2012, *apud* Curl, 1972 e 1973) que as concentrações de  $\text{CO}_2$  e as taxas de gotejo de água eram de facto os processos chave para a formação de espeleotemas; este passou então a considerar as concentrações de  $\text{CO}_2$  tanto no ar como na água, bem como a sua difusão em pequenos feixes. Gams (1981) veio então a finalizar esta problemática, concluindo que as influências da altura de queda das gotas de água e os efeitos de *splash* são, então, aqueles que definem a forma e aparência das estalagmites.

Conhecidas estas principais formas, tenta-se criar um padrão de crescimento e evolução dos espeleotemas, caso muito discutido pelos mais diversos autores. Sabendo que as condições climáticas, a fraturação e os depósitos de materiais sobrejacentes às grutas são os principais influenciadores nas taxas de crescimento de espeleotemas, teoriza-se os seus quantitativos ao longo de um ano. Começando nos estudos iniciais de Gams, já referenciado na obra de Fairchild & Baker (2012), foram encontrados valores concretos que comparativamente a outros estudos apresentavam uma certa discrepância. De facto, as variações eram mesmo de ordem sazonal, em que no caso esloveno, as águas infiltradas no solo durante o verão só alcançavam as grutas durante os meses de outono e traduziam maiores taxas de crescimento de espeleotemas comparativamente ao resto do ano. Portanto, conjugando estes fatores é de concluir que em teoria não há nenhuma gruta igual em taxas de crescimento de espeleotemas. Em suma, em grutas húmidas, o crescimento máximo das estalactites pode fazer-se na ordem dos 10mm anuais, enquanto as *soda-straws* podem crescer ainda mais; já as estalagmites podem crescer um máximo de 1mm, mas os valores médios situam-se nos 0.001mm por ano. Por sua vez, os chãos estalagmíticos, aproximam-se dos valores das estalagmites, que mesmo assim veem o seu espessamento limitado.

Outra questão a ter em conta no que toca a entender os espeleotemas são as situações de espeleotemas quebrados, verificáveis em qualquer gruta, ou já cimentados e absorvidos no chão estalagmítico; contam também os desalinados (figura 6), em que o ponto vertical por onde se faz o gotejo da estalactite, não corresponde ao ponto de acreção da estalagmite sua correspondente.

Na maioria das grutas, uma porção de espeleotemas foi fraturada por causas naturais, abandonando a sua posição original. As *soda-straws* são as que partem devido ao seu peso, enquanto as estalactites comuns ou “em cenoura” caem quando o seu peso ultrapassa a capacidade de sustentação ao teto. Já as estalagmites e os chãos estalagmíticos formados sobre sedimentos desagregados podem vir a cair ou ruir, uma vez que os materiais tendem a movimentar-se por perda de capacidade de sustento pelo peso crescente. A atividade sísmica e tectónica também pode ser responsável por estas quebras, como é referido nos estudos e artigos de Forti & Postpischl (1984), Crispim (1999), Quinif (1996), Kagan et al. (2005), Iurilli (2007 e 2009), Šebela (2008) Kim et al. (2010), verificável igualmente em situações em que não haja instabilidade nos materiais de sustentação das formas estalagmíticas.



**Figura 6** – Secções longitudinais de estalagmites. À esquerda, estalagmite-amostra “Cel-1”, na *grotto di Cellaforza*, com reconstrução gráfica dos eixos de acreção nos ápices das lâminas de crescimento (Lurilli, 2007, p. 161). À direita, estalagmites cortadas (não polidas) existentes no CISGAP e em exposição, denunciando pelas várias cores e formas, as diferentes fases de crescimento das mesmas, impurezas e presumivelmente, eventos climáticos.

É precisamente sobre a problemática dos espeleotemas quebrados que Crispim (1999) se debateu no seu artigo, que serviu de ponto de partida para este trabalho, com base numa gruta na Serra da Arrábida. Como tal, inventariou os seguintes fatores intervenientes na evolução espeleogenética daquela gruta:

- a) Fenómenos de ordem clástica (condições inerentes: perfis mecanicamente instáveis):
  - Descolamentos clásticos;
  - Compactação ou escorregamento do chão;
  - Eventos mecano-clásticos;
  - Separação por escamas.
- b) Eventos sísmicos e neotectónicos:
  - Mudanças de declives e distensões;
  - Soerguimento de maciços;
  - Proximidade de acidentes neotectónicos e de epicentros de terremotos.
- c) Fenómenos de ordem antrópica:
  - Negligência ou vandalismo por parte dos visitantes;
  - Atividades em pedreiras nas proximidades;

- Vibrações provocadas pela locomoção de veículos pesados.

Justificando cada um destes fatores, e inventariados para a gruta do Zambujal, por trás dos fenómenos de ordem clástica (pressupondo que se mantém imaculada da mão humana), contam-se os descolamentos de blocos do teto por ação da gravidade que podem ser acelerados por percolações agressivas ou por libertação de pressão acumulada no maciço rochoso, dando origem a desabamentos e a estalactites quebradas; os espeleotemas partidos e desmembramento de blocos, devidos ao escorregamento ou à progressiva compactação de argilas e lamias; queda e rotura de espeleotemas por eventos mecano-clásticos, como sendo impactos laterais devidos a queda de blocos do teto ou das paredes; desagregação e desmembração de blocos por ação do gelo (exemplo dos crioclastos).

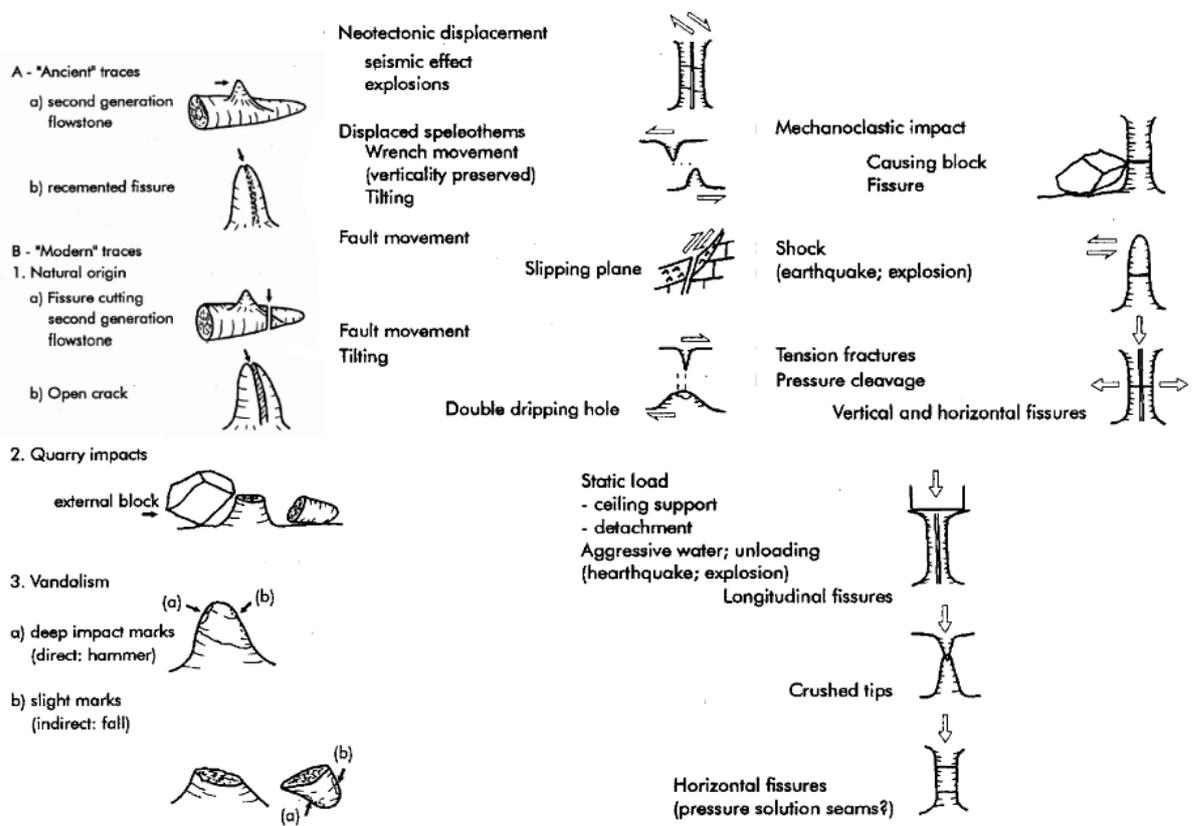
Quanto a fenómenos de ordem sísmica ou neotectónicos, consideram-se: as inclinações ou torções do maciço rochoso, alterando o normal eixo vertical dos espeleotemas e deslocando os pontos de acreção, originando tanto quebras de crescimento generalizadas como o surgimento de novos espeleotemas; o levantamento do maciço, em particular nos seus extremos, que origina novas fissuras de expansão propagáveis às paredes das grutas, e consequentemente, aos próprios espeleotemas, podendo estes quebrar por alívio de pressão acumulada; os movimentos ao longo de planos de fraturas, que originam formas de compensação, formas de esmagamento e novas fissuras, pelo que as formas quebradas se devem a alterações de compressão entre blocos adjacentes; os eventos sísmicos, responsáveis pela queda de blocos ou por colapsos mais significativos, como fraturação de estalagmites, estalactites ou colunas, queda de estalactites ou instabilidade de chãos estalagmíticos.

De acordo com a figura 7, e tentando mais tarde dar uma aplicabilidade ao Algar do Pena a partir das evidências verificadas na Gruta do Zambujal, tenta-se primeiro conhecer os fenómenos cronológicos. Crispim (1999) dividiu os vestígios cronológicos em dois: vestígios “antigos” e “modernos”, limitando-se à observação direta, sem utilização de quaisquer métodos de datação absoluta. Quanto aos vestígios considerados “antigos”, evidenciam-se grandes estalagmites ou colunas quebradas, a partir das quais novas estalagmites e chãos estalagmíticos se formam (formas de segunda geração), ou então, estando estas nas suas posições originais, apresentam-se cimentadas onde outrora estiveram fraturadas. No entanto, alguns espeleotemas leitosos e de menor desenvolvimento podem ser considerados ainda mais recentes, ou de terceira geração<sup>7</sup>. Os vestígios “modernos” caracterizam-se por apresentarem rachaduras

---

<sup>7</sup> Os espeleotemas leitosos, ou cobertos por uma matéria branca, devem-se a alterações isotópicas na água durante o período Quaternário (Bradley, 2014, p. 295 e 296)

abertas que cortam estalagmites de segunda geração, apresentando-se livres ou com incrustações de calcite; também, os espeleotemas quebrados e sem sinais de cimentação são consideráveis “modernos”. No entanto, não se pode deixar de pôr em causa a hipótese de que a aparente frescura das formas quebradas se deva a falta de percolação de água ao longo dos espeleotemas por antigos eventos sísmicos, fazendo nova seleção de caminhos de percolação de água e abandonando aquele local específico. Por outro lado, para se identificar outros eventos tectónicos a partir de espeleotemas quebrados, seria necessário ponderar casos de espeleotemas quebrados de primeira geração, com mais de um episódio de quebra, cimentação ou sedimentação, podendo se averiguar de facto se haveria rachaduras de outras morfologias.



**Figura 7** - Síntese de morfologias que possibilitam a reconstituição de uma cronologia de eventos (coluna esquerda) e agentes e morfologias inventariadas na gruta do Zambujal (Serra da Arrábida) (coluna centro e direita). Adaptado de Crispim (1999).

## **Capítulo 2**

**Breve caracterização do Maciço Calcário Estremenho:  
especificidade da bordadura sul do Planalto de Santo António**

## Capítulo 2

### Breve caracterização do Maciço Calcário Estremenho: especificidade da bordadura sul do Planalto de Santo António

[...] “Se nas zonas baixas dos confins perguntarmos a qualquer do povo o nome da região alta, ouviremos como resposta, e repetidos alguns topónimos com maior constância, uma designação particular a cada um dos acidentes perfilados no horizonte – Serra de Aire, Candieiros, Serra (é o Planalto de Santo António) –, mas em vão esperaremos um nome que abranja o conjunto; e, quando internados já no Maciço, não tardaremos a notar que por sua vez os autóctones, muito embora se apercebam da identidade de certas características topográficas e morfológicas e reconheçam na carência de água um nexo entre os vários compartimentos, foram igualmente incapazes de exprimir num topónimo geral a unidade geográfica pressentida.

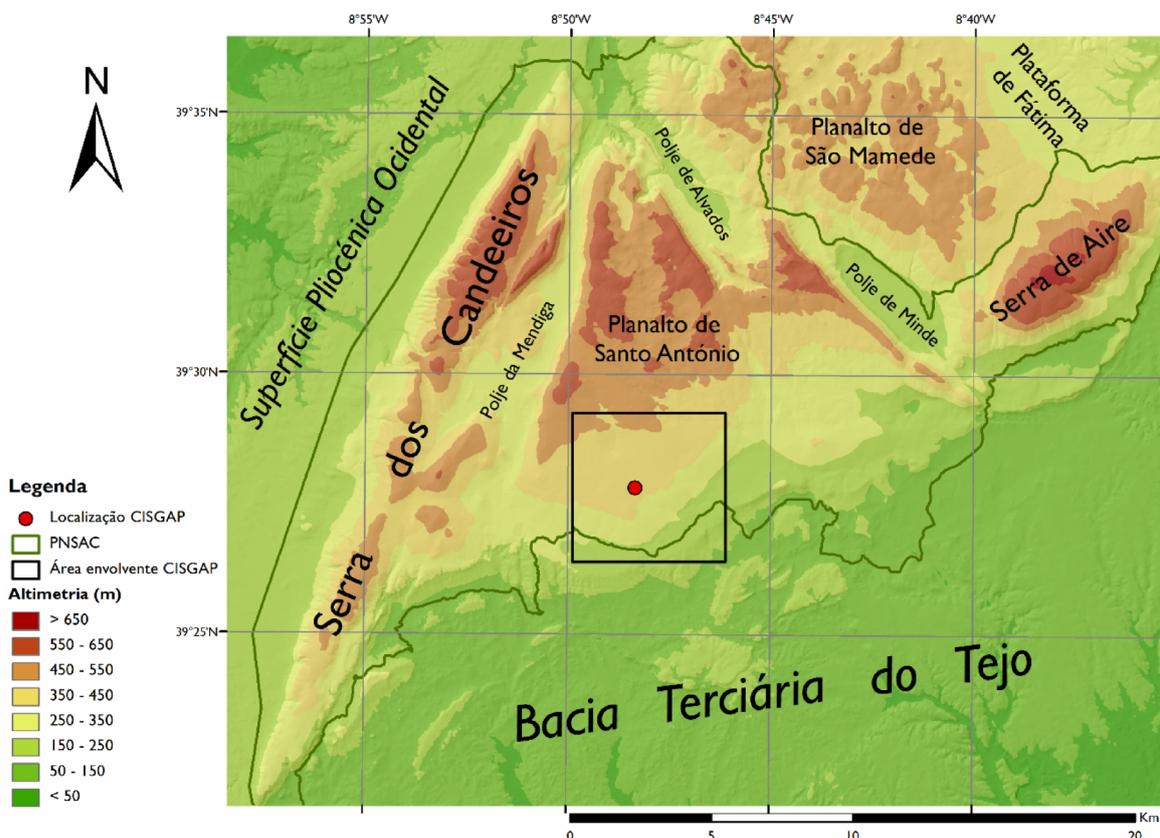
“Como é óbvio, esta insuficiência tem de ser suprimida, e por mim designo esse conjunto por Maciço Calcário Estremenho”. É com estas palavras que Alfredo Fernandes Martins dá o pontapé de saída na abordagem e descrição e interpretação daquela unidade geomorfológica tão difícil de definir. Esta nova designação passou a substituir outras mais antigas, como era a então conhecida “Maciço de Porto de Mós”. O Maciço Calcário Estremenho (MCE) é, assim, a definição para o maciço calcário constituído pelas serras de Aire e Candeeiros, e pelos seus planaltos carsificados, o planalto de S. Mamede e o planalto de Santo António, que será abordado neste trabalho.

Talhada em materiais carbonatados, é de fácil observação uma paisagem maioritariamente despida de vegetação, à exceção daqueles lugares deprimidos onde a *terra rossa* se acumula e permite que solos se desenvolvam, onde também a vegetação luta por sobrevivência. Para todos os efeitos, a vegetação é maioritariamente esparsa e de dimensões reduzidas, caracterizada como sendo particularmente resistente e adaptada à *secura*.

Segundo Fernandes Martins, é importante frisar uma visão de “contraste com as regiões marginais”, como apresenta num tópico de um dos capítulos da sua grande obra. De facto, e apreciando a paisagem, denota-se um conjunto rochoso soerguido contra as regiões marginais, que o mesmo autor define como um modelado árido ao invés de um “oásis” na periferia. Por outras palavras, e atendendo à sua atenção com os viveres e costumes da região, o “bloco calcário” por si definido é entendido essencialmente como o sustento das populações fixadas nas periferias, devido à água que brota das nascentes na sua base e ao longo de todo o seu contorno, ao invés da imensa falta de água que se faz sentir à superfície em todo o conjunto

calcário; a água (ou a falta dela) é, deste modo, um condicionante à fixação da população e das atividades económicas.

## 2.1. Geologia e Geomorfologia



**Figura 8** - Principais morfo-estruturas do Maciço Calcário Estremenho e dos seus confins

O Maciço Calcário Estremenho está localizado na Orla Mesocenozóica Ocidental Portuguesa, fazendo parte da Bacia Lusitânica. Esta bacia é caracterizada por dois estilos tectónicos distintos: um relacionado com estruturas halocinéticas, o caso dos diapiros, e outro caracterizado pelas falhas. Ambos apresentam orientações primárias na direção NNW-SSE, e secundárias na direção NE-SW, que se refletem na orientação dos principais acidentes orográficos. É de frisar que as estruturas de cotas altimétricas mais elevadas do MCE se desenvolvem em formações do Jurássico Médio, enquanto ao Jurássico Superior correspondem as zonas deprimidas, por onde o Jurássico Inferior aflora por estreitas faixas. Em termos médios, o maciço encontra-se alongado segundo a direção NE-SW, e pode-se dividir em três unidades morfo-estruturais principais (Manuppella *et al.*, 2000):

- Serra dos Candeeiros, anticlinal com orientação NNE-SSW, ladeado a Oeste por aquela a que Fernandes Martins denominou de Superfície Pliocénica Ocidental, e a Este

pelo vale tifónico (estrutura diapírica) de Batalha - Porto de Mós - Rio Maior, sendo delimitado por falhas de orientação NNE-SSW;

- b) Planalto de S. Mamede e Serra de Aire no bordo SE, ladeado a NE pela bacia de afundamento de Vila Nova de Ourém;
- c) Planalto de Santo António, delimitado a NE por acidentes tectónicos, definindo a depressão de Minde-Alvados de orientação NW-SE, e seus respetivos *poljes*, a Oeste pela depressão de Serro Ventoso – Mendiga – Valverde, e a Sul, delimitado da Bacia Terciária do Tejo pela falha inversa dos Arrifes.

### 2.1.1. O problema de definição de uma cartografia geológica geral para a área de estudo

A fim de se construir uma cartografia geológica de base, atualizada para a área de estudo e de acordo com a figura 1, foi elaborada cartografia com base na junção de ¼ de cada folha da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000, o que trouxe problemas de definição duma simbologia e nomenclatura geológica adequada (Anexo I). A primeira dificuldade resulta das datas de produção das cartas geológicas, que impôs discrepâncias na definição das unidades geológicas (logo da sua contiguidade nos extremos das cartas), de nomenclatura e, também, nos critérios de definição de idades geológicas.

Conforme será apresentado nas tabelas seguintes, começa-se por fazer a articulação das nomenclaturas e das idades de cada unidade geológica conforme a informação apresentada nas legendas das respetivas cartas. A tabela 1 é relativa às cartas ditas “antigas” e compara a informação das cartas 26-B (ano de 1961) e 26-D (ano de 1959),

A simbologia utilizada distingue as unidades conforme o seu enquadramento cronológico nas épocas ou idades. A numeração que precede as nomenclaturas diz respeito ao enquadramento com a numeração apresentada nas tabelas 2 e 3.

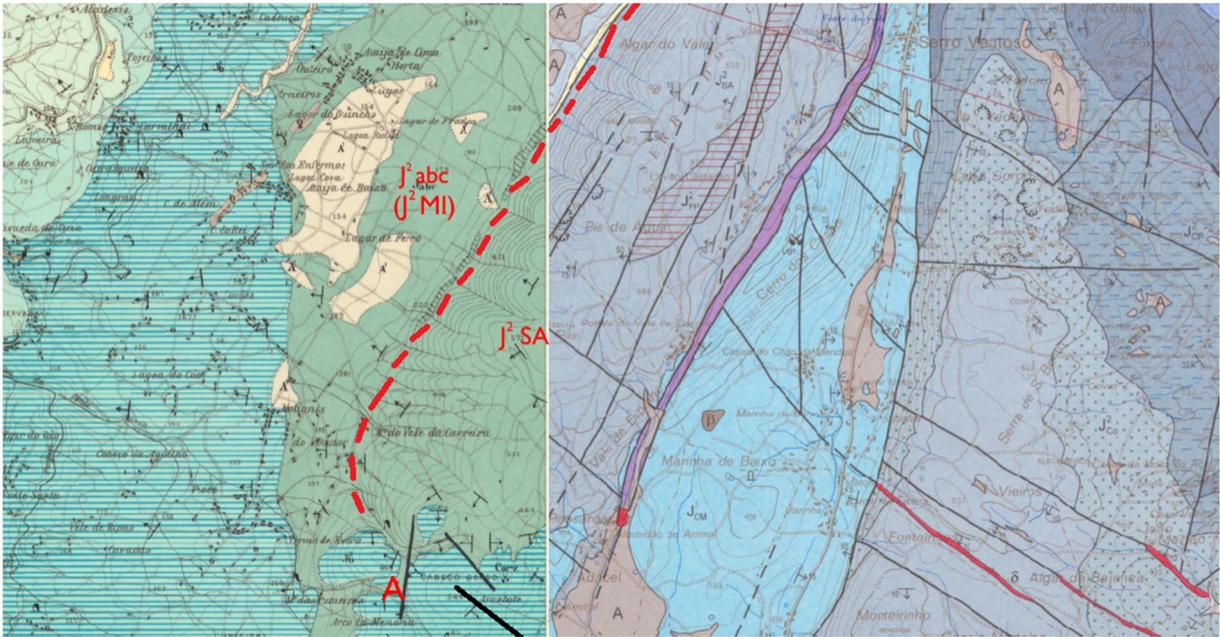
A tabela 2 já apresenta informação mais atual, mais sintética e, ao mesmo tempo, que tem em consideração as características litológicas a nível regional. À tabela 2 correspondem as cartas 27-A (ano de 1988) e 27-C (ano de 1999), que correspondem à continuidade oriental das cartas 26-B e 26-D, respetivamente. Sendo de anos diferentes, e como já dito anteriormente, põem-se problemas de continuidade geológica, associados obviamente aos critérios que presidiram aos levantamentos e ao conhecimento de causa da altura. Foi com recurso às notícias explicativas que se resolveram algumas situações destas, como serve o exemplo da transição da carta 26-B para a 27-A, no que toca à distinção de duas unidades geológicas na carta mais recente, quando na antiga pertencia tudo à mesma unidade.

**Tabela I** - Legenda respectiva à geologia abrangida pelo enquadramento da área de estudo com base nas cartas "antigas"

	Folha 26B			Folha 26D		
	Nomenclatura	Simbologia	Época/Idade	Nomenclatura	Simbologia	Época/Idade
1	Aluviões	a	Moderno	Aluviões	a	Moderno
2	Formações detríticas e de terra rossa, da Serra dos Candeeiros	A'	Moderno	Formações detríticas da Serra dos Candeeiros	A'	Moderno
3				Tufos calcários de Rio Maior e de Olho Marinho	Qt	Moderno
4	Depósitos de terraços	Q	Plistocénico	Depósitos de antigas praias e de terraços	Qt	Plistocénico
5	"Brechas da Serra dos Candeeiros"		Plio-Plistocénico indiferenciado	"Brechas da Serra dos Candeeiros"		Plio-Plistocénico indiferenciado
8 - 9	Oligocénico e Eocénico indiferenciados: "Complexo de Montes"	∅	Paleogénico	Oligocénico e Eocénico indiferenciados: Grés, argilas e calcários; Complexo de Cabos	∅	Paleogénico
11	Cenomaniano (com exclusão das "Camadas com Neolobites")	C <sup>2</sup> cde	Cretácico	Cenomaniano (com exclusão das "Camadas com Neolobites")	C <sup>2</sup> cde	Cretácico
10 - 11 - 12	Albiano, Aptiano e possível Neocomiano: "Complexos gresosos de Nazaré e de Cós Juncal"	C <sup>1-2</sup>		Albiano, Aptiano e possível Neocomiano: "Complexos gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galeota e Gansaria"	C <sup>1-2</sup>	
13	Jurássico superior indiferenciado: "Grés superiores com vegetais e dinossáurios"	J <sup>3-4</sup>		Jurássico superior indiferenciado: "Grés superiores com vegetais e dinossáurios"	J <sup>3-4</sup>	
14	Lusitaniano superior: "Camadas de Alcobaça"	J <sup>3c</sup>	Kimmeridgi-ano	Lusitaniano superior: "Camadas de Alcobaça"	J <sup>3c</sup>	Kimmeridgi-ano
15	Lusitaniano médio: "Camadas de Montejunto"	J <sup>3b</sup>	Kimmeridgi-ano	Lusitaniano médio: "Camadas de Montejunto"	J <sup>3b</sup>	Kimmeridgi-ano
17	Caloviano	J <sup>2c</sup>	Caloviano	Caloviano	J <sup>2c</sup>	Caloviano
18 - 19 - 20	Batoniano	J <sup>2b</sup>	Batoniano	Batoniano	J <sup>2b</sup>	Batoniano
21 - 22	Bajociano	J <sup>2a</sup>	Bajociano	Bajociano	J <sup>2a</sup>	Bajociano
24	Hetangiano-Retiano: "Margas e calcários de Dagorda"	J <sup>1ab</sup>	Retiano a Hetangiano	Hetangiano-Retiano: "Margas e calcários de Dagorda"	J <sup>1ab</sup>	Retiano a Hetangiano
25	Doleritos e rochas afins			Dolerito		
26	Basaltos			Basalto		
27	Brechas vulcânicas			Brecha vulcânica		

**Tabela 2** - Legenda respetiva à geologia abrangida pelo enquadramento da área de estudo com base nas cartas "recentes".

	Folha 27A			Folha 27C		
	Nomenclatura	Simbologia	Época/Idade	Nomenclatura	Simbologia	Época/Idade
1	Aluviões	a	Holocénico	Aluviões	a	Holocénico
2	Formação detrítica e terra rossa do Maciço Calcário Estremenho	A	Holocénico	Formação detrítica de Valverde e de Vale Florido	A	Holocénico
3				Tufos calcários dos rios Alviela e Almonda	Q <sup>AA</sup>	Plistocénico
4	Depósitos de terraços (areias e cascalheiras)	Q	Plistocénico	Depósitos de terraços indiferenciados	Q	Plistocénico
5	Arenitos de Assentiz e da Batalha	P <sup>AB</sup>	Miocénico sup. a Pliocénico			
6	Calcários de Santarém e Almofter	M <sup>3-5</sup> SA	Miocénio Médio a Superior	Calcários de Santarém e Almofter	M <sup>5</sup> SA	Miocénico superior
7	Arenitos de Ota	M <sup>1-4</sup> Ot	Miocénico Inf. a Médio	Arenitos de Ota	M <sup>1-4</sup> Ot	Miocénico Inf. a Médio
8	Arenitos de Monsanto	Ø Ms	Eocénico a Oligocénico inf.	Grés de Monsanto	Ms	Eocénico a Oligocénico inf.
9				Calcários de Alcanede	A	Eocénico a Oligocénico inf.
10	Conglomerados e tufos vulcânicos de Nazaré	C <sup>4-5</sup> Na	Campaniano ? a Maastrichtiano	Arenitos vermelhos de Carvalhais	C <sup>4-5</sup> Ca	Campaniano ? a Maastrichtiano
11	Calcários margosos de Ourém e da Batalha	C <sup>3</sup> OB	Cenomaniano	Calcários margosos de Ourém e da Batalha	C <sup>3</sup> OB	Cenomaniano
12				Arenitos de Amiais	C <sup>2-3</sup> Am	Aptiano-Albiano a Cenomaniano
13	Argilas e arenitos do Bombarral (Grés Superiores)	J <sup>3</sup> Bo	Titoniano	Argilas e arenitos do Bombarral ("Grés Superiores")	J <sup>3</sup> Bo	Titoniano
14	Camadas de Alcobaça (argilitos e calcários margosos)	J <sup>3</sup> Al	Kimmeridgiano	Camadas de Alcobaça (argilitos, arenitos, margas e calcários margosos)	J <sup>3</sup> Al	Kimmeridgiano
15	Camadas de Cabaços e Montejunto (calcários, margas e conglomerados)	J <sup>3</sup> CM	Oxfordiano a Kimeridgiano	Camadas de Montejunto (calcários, calcários argilosos e argilas calcárias)	J <sup>3</sup> M	Oxfordiano médio a superior
16				Camadas de Cabaços (calcários, calcários argilosos, argilas, linhites e conglomerados)	J <sup>3</sup> C	
17	Calcários de Moleanos	J <sup>2</sup> Ml	Caloviano			
18	Calcários micríticos de Serra de Aire	J <sup>2</sup> SA	Batoniano	Calcários micríticos de Serra de Aire	J <sup>2</sup> SA	Batoniano
19	Calcários de Pé da Pedreira	J <sup>2</sup> PP		Calcários de Pé da Pedreira	J <sup>2</sup> PP	
20	Calcários bioclásticos de Codaçal	J <sup>2</sup> Co		Calcários bioclásticos de Codaçal	J <sup>2</sup> Co	
21	Dolomitos de Furadouro	J <sup>2</sup> Fu	Bajociano a Batoniano			
22	Calcários de Chão das Pias	J <sup>2</sup> CP	Bajociano			
23	Margas e calcários margosos do Zambujal	J <sup>2</sup> Za	Aaleniano inf. a Bajociano inf.			
24	Calcários margosos e margas de Fórnea	J <sup>1-2</sup> Fo	Sinemuriano sup. a Aaleniano inf.			
25	Complexo pelítico carbonatado evaporítico de Dargorda	J <sup>1</sup> Da	Hetangiano			
26	Doleritos					
27	Basaltos					
				Brechas vulcânicas de Abraã	br	



**Figura 9** - Transição da carta 26-B (esquerda) para a 27-A (direita), denunciando-se três situações distintas: a primeira, não continuidade das falhas de orientação SE-NW e NE-SW para a carta ocidental; a segunda, a presença de materiais detríticos assinalados com “A”, que no topo da junção das duas cartas, não têm continuidade; a terceira, assinalado a tracejado, a não separação dos materiais marcados como J<sup>2</sup>abc na folha 26-B nas unidades J<sup>2</sup>MI (Calcários de Moleanos) e J<sup>2</sup>SA (Calcários micríticos de Serra de Aire) da folha 27-A, tendo-se averiguado a sua separação pelas características do relevo (término de declives abruptos) e pela presença de Margas de Dagorda (J<sup>1</sup>Da) que se perdem em profundidade.

Por outro lado, de acordo com a tabela litostratigráfica do MCE (Carvalho J. M., 2013), tentou-se seguir os critérios por este autor definidos, que se traduz nalgumas considerações quanto às idades geológicas, litoestratigrafia e litologias associadas que, embora muito mais abrangentes que a área de estudo, permite extrair considerações para as simbologias seguintes:

Ma	CRONOESTRATIGRAFIA	LITOESTRATIGRAFIA MCE	LITOLOGIAS			
0,01	QUAT.	HOLOCÉNICO	Argilas, areias grosseiras a finas, saibros e cascalherias			
2,6		PLISTOCÉNICO				
5	NEOGENICO	PLIOCÉNICO	Formação de Ulme	Arenitos grosseiros a finos; diatomitos e linhitos		
		MIOCÉNICO	sup.		Arenitos de Alburitel	
			méd.		Calcários de Santarém e Almoester	
			inf.		Arenitos de Ota	
23	PALEOGENICO	OLIGOCÉNICO	Formação de Monsanto	Arenitos grosseiros, localmente conglomeráticos; calcários lacustres		
34		EOCÉNICO				
56		PALEOCÉNICO				
66	CRETÁCICO	SUPERIOR	Maastricht.-Campaniano	Congls. e tufos vulcânicos da Nazaré e Arenitos vermelhos de Carvalhais	Conglomerados calcários, arenitos e tufos basálticos	
84			Santoniano			
89		Coniaciano				
94		Turoniano	Calcários margosos de Ourém e Batalha	Calcários margosos e arenitos; calcários e margas fossilíferos		
100		Cenomaniano				
112	INFERIOR	Albiano	Arenitos de Amiais e Conglomerados da Caranguejeira	Arenitos grosseiros arcósicos com intercalações argilosas		
125		Aptiano				
146		Barremiano - Berriasiano				
151	JURÁSSICO	SUPERIOR	Titoniano	Formação de Lourinhã	Argilas e arenitos	
156			Kimeridgiano	Formação de Alcobaça		Calcários margosos, argilas silto-arenosas, arenitos e restos lenhitos
161			Oxfordiano	Formação de Montejunto		
165		MÉDIO	Caloviano	Formação de Cabaços		Calcários com calhaus negros, argilas linhíticas e calcários margosos
172			Batoniano	Membro Moleanos		
176	Membro Pé da Pedreira					
183	INFERIOR	Bajociano	Formação de Serra de Aire	Formação de Serra de Aire: Calcário pelmicríticos e biomicríticos, "mudstone" a "wackstone".		
190			Membro Codaçal			
197		Bajociano	Formação de Chão de Pias	Calcários c/ nódulos siliciosos; calc. dolomíticos para o topo.		
200		Aaleniano	Formação de Barranco do Zambujal		Margas e calcários margosos.	
204		Toarciano	Formação de Fórneia			
208	Pliensbaquiano					
212	Sinemuriano	Formação de Coimbra		Dolomitos, laminitos dolomitizados		
216	Hetangiano					
222	TRIÁSICO	SUPERIOR	Retiano	Formação de Dagorda	Argilas vermelhas e evaporitos	
228			Noriano	? ? ?		
232			Carniano			
	Pré-TRIÁSICO		Soco			

Figura 10 - Tabela litostratigráfica do MCE, desenvolvida por Carvalho (2013)

**Tabela 3** - resultado final da conjugação das cartas "antigas" com as "recentes", numa tentativa de normalização da geologia para a área de estudo, com vista à uniformização de acordo com a codificação RGB da CGMW

	<b>Nomenclatura</b>	<b>Simbologia</b>	<b>Época/Idade</b>
1	Aluvião	a	Holocénico
2	Formação detrítica e <i>terra rossa</i> do Maciço Calcário Estremenho	A	
3	Tufos calcários	Qt	Plistocénico
4	Depósitos de terraço	Q	
5	Arenitos de Assentiz e da Batalha	P <sub>AB</sub>	Messiniano
6	Calcários de Santarém e Almoester	M <sup>5</sup> <sub>SA</sub>	Tortoniano
7	Arenitos de Ota	M <sup>1-4</sup> <sub>Ot</sub>	Burdigaliano
8	Calcários de Alcanede	A	Paleogénico
9	Formações detríticas indiferenciadas, com ou sem intercalações		
10	Arenitos vermelhos de Carvalhais	C <sup>4-5</sup> <sub>Ca</sub>	Maastrichtiano
11	Calcários margosos de Ourém e da Batalha	C <sup>3</sup> <sub>OB</sub>	Cenomaniano
12	Arenitos de Amiais	C <sup>2-3</sup> <sub>Am</sub>	Albiano
13	Argilas e arenitos do Bombarral	J <sup>3</sup> <sub>Bo</sub>	Titoniano
14	Camadas de Alcobaça (argilitos e calcários margosos)	J <sup>3</sup> <sub>Al</sub>	Kimmeridgiano
15	Calcários, margas e conglomerados de Cabaços e Montejunto	J <sup>3</sup> <sub>CM</sub>	Oxfordiano
16	Calcários de Moleanos	J <sup>2</sup> <sub>MI</sub>	Caloviano
17	Calcários micríticos de Serra de Aire	J <sup>2</sup> <sub>SA</sub>	Batoniano
18	Calcários de Pé da Pedreira	J <sup>2</sup> <sub>PP</sub>	
19	Calcários bioclásticos de Codaçal	J <sup>2</sup> <sub>Co</sub>	
20	Dolomitos de Furadouro	J <sup>2</sup> <sub>Fu</sub>	Bajociano
21	Calcários de Chão das Pias	J <sup>2</sup> <sub>CP</sub>	
22	Margas e calcários margosos do Zambujal	J <sup>2</sup> <sub>Za</sub>	Aaleniano
23	Calcários margosos e margas de Fórnea	J <sup>1-2</sup> <sub>Fo</sub>	Sinemuriano
24	Margas de Dagorda	J <sup>1</sup> <sub>Da</sub>	Hetangiano
25	Doleritos		<b>Filões e massas</b>
26	Basaltos		
27	Brechas vulcânicas	br	

Foi feita, assim, uma tentativa de junção de quatro folhas elaboradas com critérios muito diferentes. Quanto à codificação RGB aplicada em *software* SIG, foi complementada com tramas variadas, pelo simples facto de que sem elas não seria perceptível à primeira vista a distinção das cores, essencialmente do Jurássico Médio e Superior ou dos materiais Miocénicos, como confirma a tabela 3.

O resultado final apresenta-se em Anexo I.

### 2.1.2. Geomorfologia

A Serra dos Candeeiros, na sua extremidade Norte, ainda hoje se vê conhecida por Serra de Porto de Mós, nome esse que dera origem ao nome arcaico do Maciço, e a sua vertente ocidental trata-se de uma arriba fóssil. As falhas referidas de orientação NNE-SSW coincidem, no setor interno da serra, com o alinhamento diapírico de Porto de Mós - Rio Maior, representando escarpas de onde os artesãos de tempos passados aproveitaram os materiais consolidados das brechas como matéria-prima para a feitura de mós. No topo da serra, é possível encontrar algumas dolinas com consideráveis dimensões, e com maior frequência, algares, que conjugados com a presença de lapas evidenciam vestígios de galerias, sinónimos de antiga circulação hídrica.

Entre a vertente oriental desta serra e a vertente ocidental do Planalto de Santo António encontrar-se o *Polje* da Mendiga (figura 12), uma depressão cársica desenvolvida entre ambos os blocos soerguidos. Apresenta dimensões entre os 2,5 km de largura por 7 km de comprimento, e o seu fundo atinge uma largura não superior a 500m; este é regra geral rochoso, e os depósitos de sedimentos de maior profundidade encontram-se no seu setor oriental, junto à escarpa de falha que delimita a face ocidental do Planalto de Santo António. Associado à sua génese identifica-se a erosão fluvial, sucedida de uma progressiva carsificação no material rochoso que lhe fora inerente, salientando-se alguns campos de lapiás e raras dolinas, desenvolvidos ao longo dos planos de estratificação de camadas oxfordianas, em regra bastante inclinadas. São também conhecidas formas endocársicas, nomeadamente nas vertentes que o delimitam, bem como as há no seu fundo, associadas presumivelmente como antigos sumidouros de drenagem do *polje* (Manuppella *et al.*, 2000).

O Planalto de S. Mamede, corresponde a uma extensa região planáltica no setor setentrional do MCE e atinge as maiores cotas entre S. Mamede e Mira d’Aire, descendo em degraus até à Bacia de Vila Nova de Ourém, a Nordeste (Manuppella *et al.*, 2000). Delimitado a Sul pelo sopé da Serra de Aire, a Norte desce progressivamente, sendo atravessado pela bacia hidrográfica do rio Lis. Fernandes Martins referenciava um nível de aplanamento conhecido por “nível das Pias” (c. 510 metros), correspondendo a um dos dois importantes níveis de aplanamento do Planalto de S. Mamede, e outro, a Nordeste, conhecido por Plataforma de Fátima (c. 340 metros). Em qualquer um destes níveis de aplanamento, os efeitos de erosão cársica encontram-se fortemente evidenciados, pelo que no primeiro surgem grandes depressões fechadas, com a aparência de uvalas com dolinas embutidas, em forma de estrela e no sentido da principal fraturação, ou mesmo vales com o fundo desorganizado por dolinas

(Martins, 1949); na Plataforma de Fátima, não se evidenciam grandes depressões, embora se encontrem cobertas pelos frequentes depósitos detríticos, denotando-se uma densa rede de vales desorganizados por dolinas, ou mesmo pequenas depressões fechadas e isoladas. Exemplo é o espaço onde o Santuário de Fátima se encontra situado, uma enorme dolina coberta por materiais detríticos dá forma ao local religioso mais afluído de Portugal.

No Planalto de S. Mamede é também possível encontrar extensos campos de lapíais, essencialmente nos topos e ao longo das vertentes, onde os materiais do Cretácico não cobrem as rochas calcárias. Também se encontram algares de grande imponência, ultrapassando alguns os 100 metros de profundidade, com galerias fósseis à semelhança de algumas lapas a pequena profundidade, algumas delas também abertas ao turismo; outras com regime hídrico temporário dão lugar a exurgências na época de descarga hídrica, ao longo da escarpa de falha do Reguengo do Fetal, bem como nas vertentes dos vales suspensos se constroem abrigos na rocha calcária, à semelhança das buracas no Maciço de Condeixa-Sicó-Alvaiázere (Cunha, 1990).

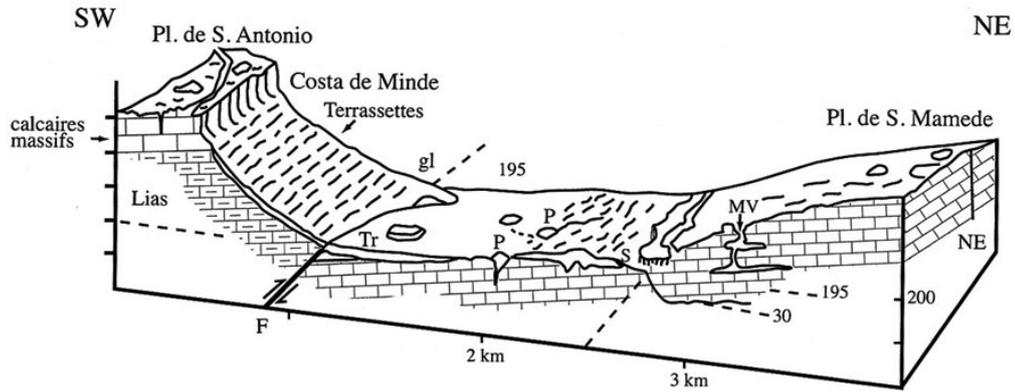
Entre o Planalto de S. Mamede e o Planalto de Santo António situam-se os dois *poljes* correspondentes ao alinhamento de Porto de Mós – Alvados – Mira d’Aire – Minde, de orientação NW-SE, como sendo o *Polje* de Alvados e o *Polje* de Minde.

O *Polje* de Alvados deve a sua forma às falhas que o delimitam, entre as quais a que limita a vertente NE do Planalto de Santo António, de orientação NNW-SSE, conhecida por Costa de Alvados. Apresenta-se como um *polje* de drenagem fluvial e não endocársica, feita pelos afluentes do Rio Alcaide, por sua vez afluente do Lena, para Norte; o fundo tem declives suaves e inclinados para Noroeste, o que lhe permite que as inundações sejam raras, ao contrário do que já acontece no *Polje* de Minde. Na sua extremidade Noroeste, a Costa de Alvados é entalhada pelo Ribeiro da Fórnea, precedente da Fórnea de Alvados (fotografia 5), forma flúvio-cársica em anfiteatro (ou *reculée*) com cerca de 500 metros de diâmetro, e com um desnível de 250 metros (Manuppella et al., 2000). A sua génese está associada ao brotar de nascentes temporárias em vários pontos das vertentes, mas junto ao seu sopé mantêm-se ativas durante todo o ano. É de destacar nas suas vertentes a presença de escombrelas de gravidade, verdadeiros cones de materiais em declives superiores a 30°, “tratando-se nitidamente de formações não atuais, contemporâneas de períodos mais frios do Quaternário, nas quais se nota uma nítida classificação das dimensões dos elementos rochosos do topo para a base, onde se situam os maiores blocos” (Rodrigues M. , 1991).



**Fotografia 5** - Fórnea de Alvados. Fotografia cedida por Vítor Silva.

O *Polje* de Minde, com 4 km de comprimento por 1,8 km de largura máxima de fundo plano, é a depressão cársica que revela a imagem de postal típica do MCE. Enquadra-se entre a imponente escarpa de falha da Costa de Minde a Sudoeste, a Nordeste pelas vertentes do Planalto de S. Mamede e a Sudeste pelas vertentes da Serra de Aire. No inverno é costume ver o *polje* a transformar-se numa autêntica lagoa, que se perpetua até meados ou finais da primavera, conhecendo-se essa área então por Lagoa de Minde, ou até mesmo por Mar de Minde, e a prova disso é a ondulação que se verifica, que contribuiu para a estruturação dos depósitos (conhecidos por *Pincha*) nas suas margens, que segundo Fernandes Martins (1949), é um depósito exógeno herdado do último período frio, aquando de níveis de água mais elevados; esta lagoa é resultado das inundações provocadas pelas águas que brotam à superfície, ao longo da base da vertente oriental do *polje*. A superfície do fundo encontra-se à cota dos 195 metros, e aquando do seu enchimento no inverno, atinge profundidades de cerca de 5 metros, surgindo oportunidades de prática de mergulho ou mesmo de canoagem. Estas nascentes formam rios que escoam ao longo do *polje*, e que se perdem por sumidouros no seu fundo. O seu enchimento deve-se precisamente ao transvase da água por esses sumidouros (ou *ponors*) nas épocas de maior pluviosidade, ficando completamente preenchidos, e a água nos seus níveis mais elevados passa a corresponder ao nível das nascentes no fundo da Costa de Minde.



**Figura 11** - Esquema demonstrativo do funcionamento do *Polje* de Minde (Nicod, 2003)

Definem-se deste modo como *ponors* precisamente pelo funcionamento alternado que adquirem, isto é, tanto pela absorção como pela emissão de água, conforme recarga ou descarga hídrica, respetivamente (maior ou menor nível da toalha freática). Deste modo, sendo *ponor*, não deixa de ser sumidouro ou exurgência, apenas se denomina diferentemente pela sua funcionalidade. Acrescentar, adquire tal denominação por ser um algar existente exclusivamente no fundo de uma depressão cársica, nomeadamente de um *polje* (Rodrigues et al, 2007). No fundo desta depressão há dois tipos de depósitos: a *Pincha de Minde* e o depósito de crioclastos do *Alto do Lombeiro*, este último situado na base da *Costa de Minde*. Estes depósitos são constituídos regra geral por crioclastos achatados e rolados, todos mais ou menos homométricos, envoltos em escassa matriz argiloterrosa.



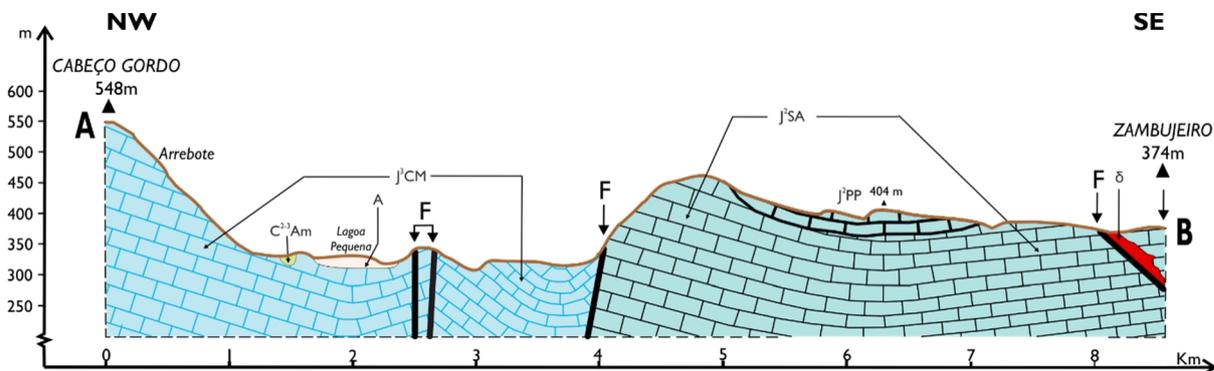
**Fotografia 6** - Vista do topo da *Costa de Minde* para o *Polje* de Minde, visão S-N (fotografia de 30/11/2009).

Por sua vez, a Serra de Aire é um anticlinal alongado de Sudoeste para Nordeste, atravessado por falhas transversais que orientam os vales mais imponentes na direção NW-SE. Eleva-se a mais de 100 metros em relação ao definido Nível das Pias, e sem qualquer continuidade morfológica, também existem dolinas e depósitos de materiais detríticos semelhantes aos que se encontram no Planalto de S. Mamede. Longitudinalmente é também um anticlinal orientado em escadaria, abatendo-se assimetricamente em blocos estruturados segundo as falhas de orientação NW-SE. É também nesta unidade que se atinge a maior altitude de todo o maciço, alcançando a cota dos 678 metros (Ferreira, 2005). A nível geomorfológico, toda a superfície da serra corresponde a um imenso campo de lapiás, praticamente impenetrável, onde o caos de pedras se alia a sulcos mais profundos em que a vegetação arbustiva se densifica fortemente. Os algares são mais profundos e frequentes nas vertentes viradas para o quadrante Norte, atingindo profundidades raramente superiores a 100 metros. No sopé meridional da Serra de Aire, encontra-se aquilo que Fernandes Martins considerou como um *polje incipiente*, O Vale da Serra, uma depressão fechada contida entre o anticlinal e a faixa dobrada contígua ao cavalgamento do bordo Sul do maciço, que o separa da Bacia Terciária do Tejo.

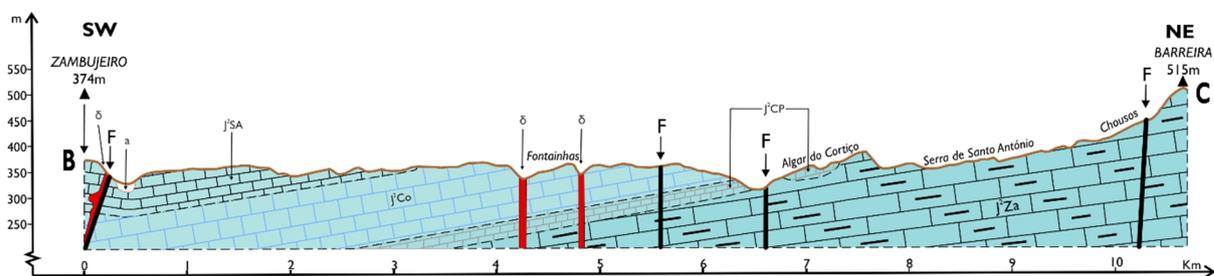
No que refere ao Planalto de Santo António, este apresenta uma forma triangular, de vértices apontados a Norte, a SW e a Este, delimitado nos flancos por escarpas de falha que dão para as depressões adjacentes, e a Sul também pela escarpa associada à falha dos Arrifes, que estabelece a passagem para a Bacia Terciária do Tejo. Para além das falhas que limitam o Planalto, importa mencionar também algumas das falhas que o atravessam, de direção NW-SE, e que se encontram preenchidas por rochas filonianas, como os doleritos e os basaltos, tal como acontece por rochas eruptivas a surgir ao longo do diapiro de Porto de Mós – Rio Maior. A região setentrional é dominada por cumeadas, que lhe atribuem uma altimetria média por volta dos 550 metros, onde se instalaram inúmeras depressões fechadas como dolinas ou uvalas, atingindo diâmetros de algumas centenas de metros (figuras 12 e 13).

No Planalto de Santo António é possível encontrar extensas áreas repletas de campos de lapiás, e “as suas formas variam desde as resultantes da evolução sob um preenchimento detrítico posteriormente exumado até às que resultam da dissolução pela água em superfícies nuas” (Manuppella et al., 2000), portanto lapiás de todas as formas e feitios, que associados à própria fraturação, adquiriram os seus contornos. Outros de maiores dimensões, criados por progressiva dissolução da rocha, apresentam-se como verdadeiras pias, que as populações passam a utilizar como reservatórios de água para a sua agricultura de subsistência que aparece

nos poucos e raros solos de pouca profundidade que surgem entre o caos de rochas (fotografia 7).



**Figura 12** - Perfil geológico do Polje da Mendiga, com ênfase para as vertentes SE da Serra dos Candeeiros e para a vertente NW do Planalto de Santo António (verificar anexo I).



**Figura 13** - Perfil geológico do Planalto de Santo António, correspondendo B às imediações do CISGAP, e C a uma das cotas mais altas da escarpa de falha adjacente ao Polje de Minde (verificar anexo I).

É possível encontrar em todo o Maciço dolinas de diferentes formas, como em selha, em funil, em concha, assimétricas e compostas (Coelho, 2002).

Encontra-se também grande número de algares, e na sua grande maioria superam a centena de metros de profundidade, mas mesmo os mais profundos não chegam a atingir o nível freático. No entanto, a maior parte das lapas situa-se ao longo de uma faixa paralela e pouco distante (pouco mais de 1 km) ao limite superior de vertente da denominada Costa de Minde, sendo galerias fósseis cortadas pela erosão dos setores levantados por força da tectónica ao longo das falhas presentes.

No setor Sul do Planalto de Santo António, onde predominam os calcários do Batoni-ano, encontra-se com cada vez maior frequência, pedreiras para extração de rocha para fins industriais e ornamentais, traduzindo enormes impactos ambientais, paisagísticos e para a própria preservação das cavidades e dos seus depósitos (Carvalho J. M., 2013).



**Fotografia 7** - Exemplo de um lapiás de grandes dimensões, *megalapiás*, usado como reservatório de água pelas gentes do Planalto de Santo António (localidade de Serra de Santo António).

### 2.1.3. Algumas teorias sobre a génese do Maciço Calcário Estremenho

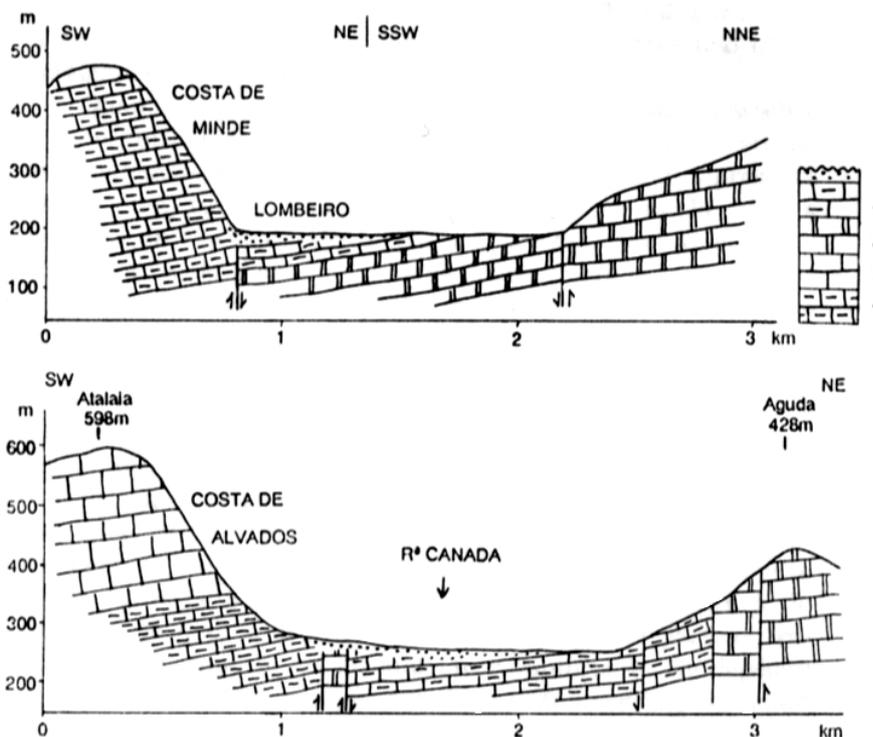
Vários autores se têm debruçado sobre o MCE antes e depois da elaboração do trabalho de Alfredo Fernandes Martins, desde E. Fleury (1917), P. Birot (1949), G. Zbyszewski (1949), C. Teixeira e G. Zbyszewski (1968), A. M. Galopim de Carvalho (1969), S. Daveau (1973), A. Ribeiro (1979), Rodrigues (1988 e 1998), Crispim (1995), entre outros mais, com o objetivo de explicar a sua génese, a sua morfologia, e a explicação dos seus elementos constituintes, nomeadamente os depósitos materiais.

Com o avançar dos anos, e com suporte de cartografia geológica e topográfica de qualidade, e de grande escala que os autores até então não dispunham, junta-se uma cobertura completa de fotografia aérea, que permite a novos autores retomar os problemas de génese e evolução daquele conjunto montanhoso, dotando-o de cartografia geomorfológica de pormenor (Ferreira, Rodrigues, & Zêzere, 1988).

No respeitante à morfologia geral do maciço, parece caber à tectónica do Cenozoico a primazia na individualização e na compartimentação morfológica do MCE, destacando-se dois grandes blocos, o Planalto de S. Mamede e o Planalto de Santo António, separados pelo acidente transversal de direção NW-SE, onde se desenvolvem os fossos tectónicos de Minde e Alvados; no Planalto de S. Mamede ocorreu basculamento para NE, e no Planalto de Santo António houve basculamento para Sul e SW, o que levou à criação das imponentes escarpas de falha (do Planalto de Santo António) com alturas de 300 metros, conhecidas por Costa de

Minde e Costa de Alvados. Na sua envolvência, e como já desenvolvido no tópico precedente, desenvolvem-se os níveis depressionários, contraste pleno do soerguimento de todo o Maciço (figura 14).

É de constatar em toda a envolvência do Maciço uma cobertura de materiais do Cretácico inferior que, sem contar com os materiais Quaternários que se lhes sobrepõem, ocupam também algumas zonas planálticas, essencialmente na zona setentrional do Maciço. Os terrenos do Oxfordiano (camadas de Cabaços e Montejunto) encontram-se, em regra, deprimidos em relação aos do Jurássico Médio (Aaleniano, Bajociano, Batoniano e Caloviano), tal como acontece nos fossos de Alvados, Minde e da Mendiga e a Oeste da Serra dos Candeeiros, e como tal, o Oxfordiano ocupa os blocos deprimidos, e é inexistente nos soerguidos. Presupõe-se então que houve uma fase de deformação tectónica anteriormente que definiu as depressões tectónicas, seguindo-se o arrasamento climático que define o Nível das Pias e a Plataforma de Fátima (Ferreira, Rodrigues, & Zêzere, 1988).



**Figura 14** - Cortes geológicos das depressões de Alvados e de Minde (Rodrigues M. , 1991). Esquematisação que evidencia o abatimento dos blocos Nordeste em contraste ao soerguimento dos blocos Sudoeste. Legenda:  
 1 - Toarciano a Aaleniano; 2 - Bajociano; 3 - Batoniano; 4 - Oxfordiano; 5 - Cobertura detritica Quaternária

De acordo com o que se constata na cartografia geológica (Anexo I), o Cretácico é dominante nas periferias do Maciço, em particular a Sudeste (e a Norte, mas fora da área de estudo), é inexistente nos fossos de Minde e Alvados, restando apenas um pequeno retalho no fosso da Mendiga (figura 12); esta ausência pode significar que não houve fossilização dos materiais carbonatados após o grande arrasamento do Mesozoico, mantendo-se os fossos

amparados de quaisquer coberturas. Assim, as depressões de Minde e Alvados serão, provavelmente, posteriores à exumação da superfície calcária. Segundo Fernandes Martins, a forte disponibilidade de materiais calcários pouco grosseiros em depósitos do Cretácico nas orlas do Maciço sugerem indícios do primeiro levantamento, no Terciário, mais em particular no Oligocénico. Por outro lado, o Maciço já fora coberto por materiais siderolíticos<sup>8</sup>, testemunhado no preenchimento de fendas cársticas, completado pela erosão fluvial; estes materiais, constituídos por materiais mal rolados, envoltos numa matriz terrosa, desapareceram, e são extremamente raros de se encontrar na paisagem ou em profundidade.

Aponta-se o final do Oligocénico como a fase tectónica mais importante no modelado do Maciço, definindo as linhas gerais do relevo. Há, também, a hipótese de um soerguimento durante o Quaternário, evidenciado pela presença de materiais marinhos e perfeitamente rolados em cotas mais altas, após um “rápido episódio marinho no final do Terciário” (Martins, 1949), que se evidencia pelos depósitos flúvio-marinhos na base ocidental da Serra dos Candeeiros, depósitos esses do Pliocénico, e confirmando a ideia de que aquela vertente foi o rebordo interior de uma superfície de abrasão marinha (Ferreira, Rodrigues & Zêzere, 1988, *apud* Daveau, 1973).

## 2.2. Clima e Hidrologia

O Maciço Calcário Estremenho enquadra-se numa situação de transição climática, por isso mesmo talvez não se possa considerar específico dum tipo apenas, isto é, encontra-se sob influência maior dum clima de tipo Csb (segundo a Classificação Climática de Köppen), e em parte, de tipo Csa, sendo de clima temperado mediterrânico (chuvas no inverno), de verões quentes e de invernos amenos [Instituto do Mar e da Atmosfera (IPMA)]; situa-se, na quase totalidade, na zona edafoclimática mediterrânea.

Confirmando as palavras de Fernandes Martins (1949), a água é escassa no verão, embora o clima se apresente maioritariamente húmido durante todo o ano. De facto, durante os meses de verão, esta humidade tem grande importância para a prática agrícola, uma vez que a escassez de água no interior do Maciço torna-se um constrangimento à sua prática; os ventos

---

<sup>8</sup> Formação detrítica à base de quartzo, caulinite, óxidos e hidróxidos de ferro, resultantes da remobilização de um manto de alteração laterítico. Por sua vez este manto laterítico caracteriza-se por sofrer de uma forte lixiviação, típica de fortes e intensas chuvadas, que constroem uma organização de partículas de forma que se torna completamente impermeável e não permite a infiltração da água em profundidade.

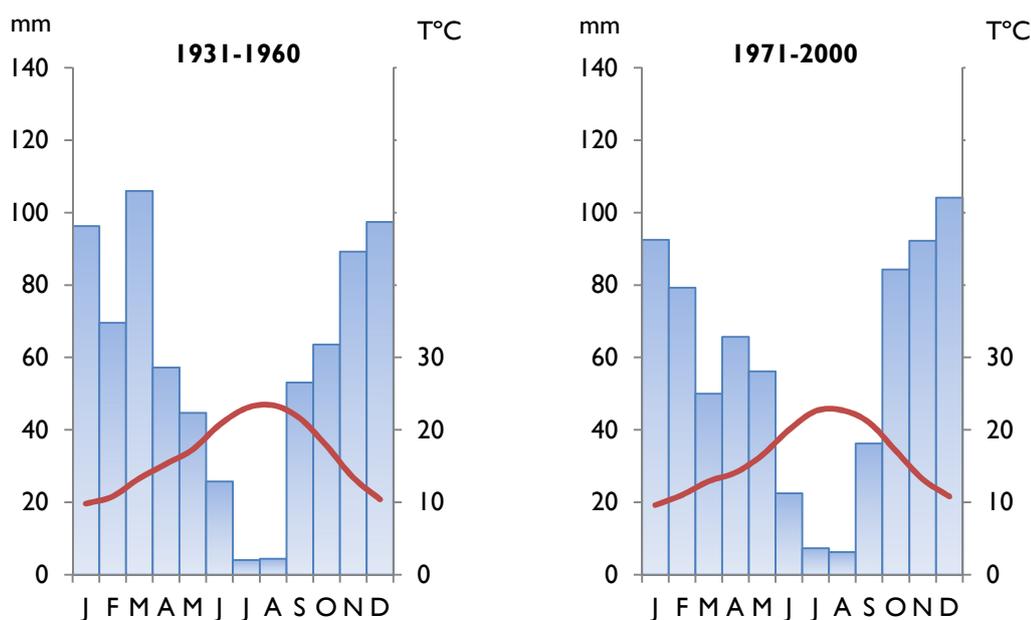
dominantes dos quadrantes N a NW revelam-se de extrema importância, transportando massas de ar marítimo que provocam as chuvas nos meses de outono e inverno, bem como nevoeiros e maresias características da zona, que se repercutem ao longo do ano. As Serras de Aires e Candeeiros são as mais pluviosas da Estremadura portuguesa, registando valores pluviométricos que oscilam entre os 900 e os 1300mm, e as geadas ocorrem em média entre 2 a 3 meses por ano.

Analisando os gráficos termopluviométricos numa estação amostra (escolheu-se Santarém, uma vez que fica nas imediações do MCE), verificam-se médias de pluviosidade de 1931-1960 a rondar os 711.2mm, e com 696.5mm nos anos 1971-2000. Estes valores pluviométricos, aparentemente baixos, podem bem ser justificados pelo facto de, estando a estação a SE do Maciço, e os ventos dominantes de NW/N, a maior parte da pluviosidade fora deixada para trás. Comparativamente aos dados levantados por Fernandes Martins nos antigos postos existentes dentro do MCE, é de verificar uma extrema discrepância com um total de 2134,8mm em Fátima ou 1865,2mm em Minde (1932-44), o que só vem confirmar que a pluviosidade se faz sentir mais no espaço soerguido, estando com certeza a falar de um pequeno *efeito de Foehn* (melhor confirmação será mesmo o esboço de pluviosidade anual de Fernandes Martins (1949), p. 215). Na questão das temperaturas, e no contexto dos ventos que influenciam o Maciço, as temperaturas são mais baixas a barlavento [rondando os 14,5°C (Martins, 1949, p. 212)] e mais quentes a sotavento (cerca de 16°C), portanto mais uma vez se pode focar a premissa da presença dum *efeito de Foehn* à pequena escala, sendo possível de explicar pelo peso da latitude, da altitude e do afastamento em relação ao oceano, que constata tais diferenças, mesmo que sem grande visibilidade.

No capítulo hidrológico, a hidrologia do MCE está intimamente ligada com a litologia e com a tectónica regional, pelo que se vê influenciada por fatores eustáticos<sup>9</sup> e tectónicos, que conjuntamente, desorganizam as redes hidrográficas tanto superficiais como subterrâneas. De facto, aliando-se a permeabilidade em grande dos calcários, torna-se impossível a organização de redes de drenagem superficiais.

---

<sup>9</sup> Descidas e subidas do nível do mar, que influenciam diretamente os gradientes hidráulicos.



**Figura 15** - Gráficos termopluviométricos para a estação de Santarém, com base nas Normais Climatológicas de 1931-60 e com os dados do IPMA (1971-2000).

No relevo marcam-se entalhes típicos da erosão superficial, como os vales secos presentes em calcários margosos e dolomíticos, que chegam a permitir a criação de ténues linhas de água em episódios pluviosos mais intensos. Quando a pluviosidade se faz sentir vigorosamente nos meses de outono e inverno, o *Polje* de Minde fica inundado, demorando vários meses a vaziar. Esgotado este lago temporário, as terras tornam-se altamente férteis, onde se pratica o cultivo de milho, batata, pequenas hortas e vinha. De entre os cursos de água temporários, contam-se a ribeira da Fórnea, que só entra em funcionamento quando o *input* de água no Maciço é suficiente para efetuar descarga por aquela exurgência; o único curso de água permanente é a Ribeira dos Amiais, que desemboca nos Olhos d'Água do Alviela, após se ter perdido em profundidade e surgir novamente na sua ressurgência a montante do local referido (fotografia 1). Há também algumas lagoas permanentes na área do Maciço, que se desenvolvem onde os fundos se encontram permeabilizados por argilas ou outros sedimentos, e vêm-se de grande importância para as populações, servindo para a rega da magra agricultura nos pequenos terrenos argilosos escavados na rocha, usos domésticos, ou para a fauna selvagem (Martins, 1949).

Quanto à hidrologia subterrânea, a água precipitada perde-se na sua grande maioria em profundidade, servindo as grutas de grandes canalizações naturais subterrâneas. A água surge à superfície por nascentes permanentes ou temporárias, sendo a mais significativa a dos Olhos d'Água do Alviela, a que regista os maiores caudais e revela-se de extrema importância pois abastece Lisboa há mais de um século. O PNSAC/MCE é, também, considerado o maior reservatório de água subterrânea do país.

### 2.3. Ocupação e uso do solo

Quer seja estando de viagem, quer fazendo um passeio ou mesmo fazendo uma caminhada pelos caminhos pedestres do PNSAC, qualquer pessoa se apercebe de uma paisagem muito peculiar, como não se encontra noutra parte do país. Esta paisagem, outrora descrita por Fernandes Martins, pouco se alterou até aos dias de hoje, apesar do abandono agrícola, da intensificação da criação de gado bovino e do surgimento de alguma indústria e atividades ligadas ao comércio nos centros urbanos, mas que não negam a essência rural daquele que é o verdadeiro Maciço Calcário Estremenho. Associada à própria constituição geológica e ao impulso da tectónica, as depressões e os blocos soerguidos definem a maior ou a menor disponibilidade de água, e por conseguinte, de vegetação, que desde os primórdios do povoamento, condicionaram a fixação de populações e de atividades económicas.

Analisando a carta do uso do solo (figura 16), rapidamente dá para perceber a imagem do maciço a sobressair à vista, sem estar previamente delimitado: a proeminência de uma macha respeitante a “florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea<sup>10</sup>”. Sabendo de antemão que é essencialmente nos calcários do Jurássico Médio que a vegetação revela maior dificuldade em se desenvolver, limita-se a uma vegetação esparsa, herbácea ou arbustiva, subsistindo algumas macnhas de espécies calcícolas, onde os solos conseguem atingir alguma espessura por entre as rochas e o caos de pedras, aproveitando os lapíais ou motivados por alguma influência hídrica (caso das dolinas), etc.

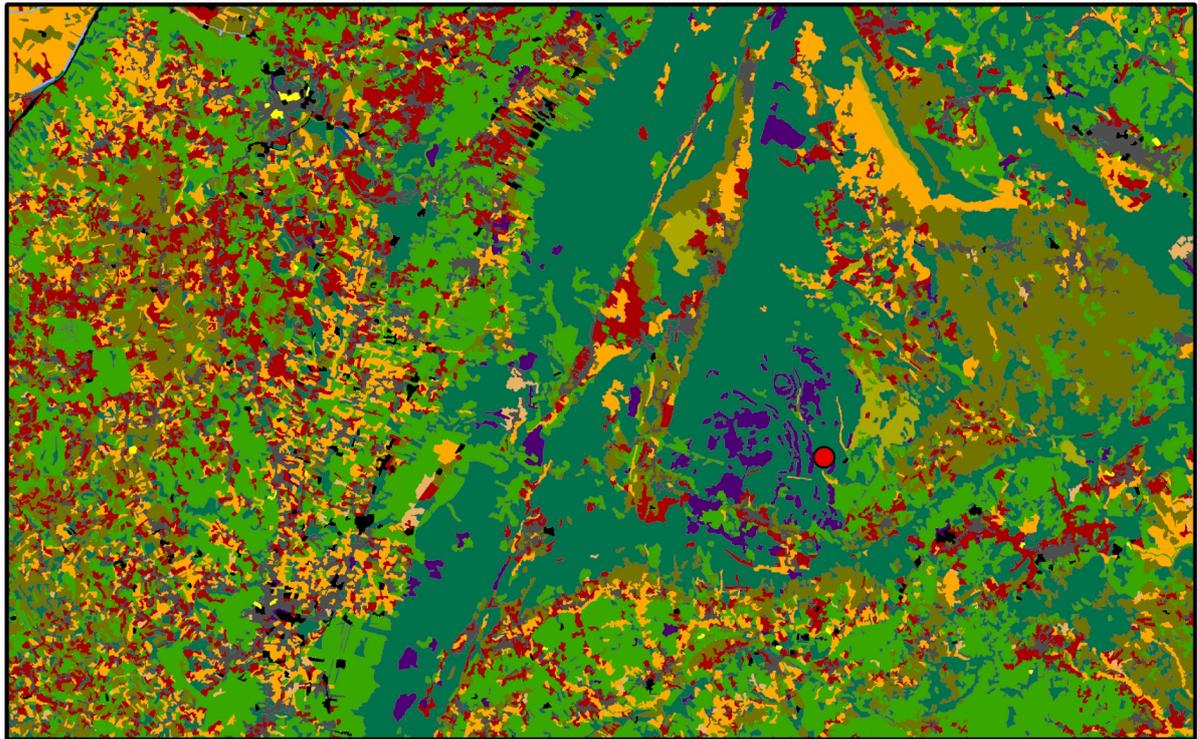
Também no que se refere a revestimento arbóreo, Fernandes Martins (1949) faz um esboço sumário das espécies arbóreas no MCE (p. 227), destacando o pinheiro marítimo ou bravo, o pinheiro manso, o castanheiro, os, a azinheira, o carvalho, o sobreiro e a oliveira. No entanto, as formações vegetais do MCE são sempre tidas como secundárias ou degradadas, como as *maquis*<sup>11</sup> e as *garrigues*<sup>12</sup>. As *maquis* entendem-se por formações vegetais mais desenvolvidas e com maior número de indivíduos do estrato arbóreo, enquanto as *garrigues* contêm formações vegetais menos desenvolvidas e essencialmente do estrato arbustivo. Estas últimas podem ser subdivididas em dois tipos: a *garrigue* siliciosa e a *garrigue* calcária.

---

<sup>10</sup> Segundo a nomenclatura da Carta de Ocupação do Solo (2007), esta categoria de nível 2 subdivide-se em quatro de nível 3: vegetação herbácea natural; matos; vegetação esclerófito; florestas abertas, cortes e novas plantações.

<sup>11</sup> *Maquis* é entendido como vegetação resistente, vegetação que se desenvolve em domínios climáticos mediterrâneos, e que em geral se estabelece em solos siliciosos; corresponde a uma fase de degradação do coberto vegetal, onde predominavam comunidades de indivíduos da família dos *Quercus*, agora tomada por arbustos densos e de difícil penetração.

<sup>12</sup> Noção geral de matos ou comunidades daquela zona, tradicionalmente conhecida por “charneca” (segundo Martins, 1949).



### Legenda

● Localização CISGAP

### Ocupação e uso do solo (COS 2007)

■ Tecido urbano

■ Indústria, comércio e transportes

■ Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção

■ Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas

■ Culturas temporárias

■ Culturas permanentes

■ Pastagens permanentes

■ Áreas agrícolas heterogéneas

■ Florestas

■ Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea

■ Zonas descobertas e com pouca vegetação

■ Zonas húmidas interiores

■ Águas interiores

**Figura 16** - Ocupação e uso do solo da área de estudo, segundo a Carta de Ocupação do Solo de 2007.

A *garrigue* siliciosa é característica por se apresentar descontínua e em pequenas manchas de vegetação, e é em regra, de porte rasteiro. A vegetação deste tipo tende a avançar para o interior do Maciço a favor dos materiais detríticos que englobam areias quartzosas, calhaus de quartzo e quartzito. Por mão humana foi introduzido o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), e alguns pinheiros-mansos (*Pinus pinea*), pelo que os pinhais são algo frequente no Planalto de S. Mamede e até à sua base, no *Polje* de Minde (Martins, 1949). Destaca-se também o

castanheiro (*Castanea sativa* Miller), que já teve grande relevância, em outros tempos, nas margens do *Polje* de Minde.

Efetivamente, a vegetação autóctone seria à base de *Quercus*, progressivamente desbastada por mão humana, mas entre os quais ainda se esforçam no combate às espécies invasoras os sobreiros (*Quercus Suber* L.), as azinheiras (*Quercus Ilex* L.), o carvalho-português (*Quercus faginea*) e mesmo os carrascos. Esta intervenção livrou todo o Maciço a uma situação de charneca, onde hoje em dia o próprio pinheiro-bravo tem vindo a desaparecer por pragas exóticas (Nemátodo), começando a aparecer o eucalipto (*Eucalyptus globulus*), que mesmo assim não se desenvolve com facilidade no interior do Maciço pela fraca disponibilidade em água à superfície.

A *garrigue* calcária povoa irregularmente o solo, dissimulando-se fracamente pelo território, apresentando retalhos aqui e ali, e a sua composição florística não varia muito de local para local. As espécies dominantes são as estevas (*Cistus ladanifer*), os tojos (*Ulex sp.*), os alecrins (*Rosmarinus officinalis*, L.), o carrasco (*Quercus coccifera*), os rosmaninhos (*Lavandula Stoechas* L.), as carvalhiças (*Quercus fruticosa Broteroi*), os espinheiros (*Crataegus sp.*), os cardos (*Cynara cardunculus sp.*, encontrados nos solos essencialmente pedregosos), as pimenteiras (*Vitex Agnus-castus* L.), as gilbardeiras (*Ruscus aculeatus* L.), os sargaços (*Cistus sp.*), os lentiscos (*Phillyria angustifolia* L.), os tomilhos (*Thymus vulgaris* L.) as urzes (*Erica arborea* L.) e as murtas (*Myrtus communis* L.). Por sua vez, na Serra dos Candeeiros a vegetação é bastante escassa, apresentando-se maioritariamente rasteira; em zonas mais abrigadas das brisas marítimas, é possível encontrar bosques de medronheiros (*Arbutus Unedo* L.) bastante densos. À semelhança do que acontece na Serra de Aire, onde a intervenção humana e o fogo ainda não chegaram, é de deparar com espécies perfumadas, como o alecrim ou o rosmaninho, intercalados com arbustos de grande porte, como os carrascos.

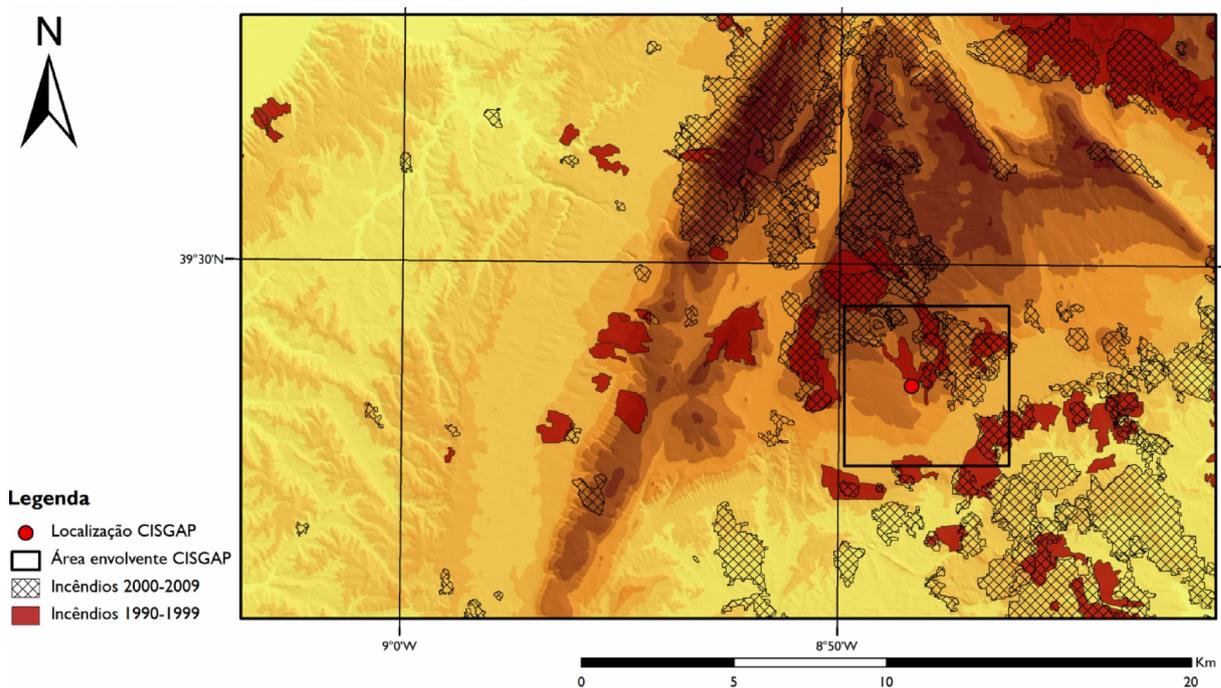
É em pleno Planalto de Santo António que ainda se conservam as machas de *maquis* típicas de todo o Maciço, que embora cada vez mais diminutas, ainda mantêm os seus sobreiros, medronheiros, adernos (*Phillyria latifolia* L.), folhados-comuns (*Viburnum Tinus* L.), sargaços, alecrins, madressilvas (*Lonicera sp.*), alguns azevinhos (*Ilex aquifolium*), carvalhiças e carrascos.

Frisando bem o carácter mediterrâneo da vegetação do MCE, não ficam a faltar oliveiras bravas ou zambujeiros (*Olea europæa* L. var. *maderensis* Lowe) e os loureiros (*Laurus nobilis*); a respeito de árvores de fruto, encontra-se com abundância as oliveiras (*Olea europæa* L.) e as figueiras (*Ficus carica* L.), onde os solos sejam mais fundos e estejam abrigadas das brisas. Por

fim, a videira (*Vitis* sp.) aparece a acompanhar o povoamento, encontrando-se essencialmente nos *Poljes* de Minde, de Alvados e da Mendiga.

Por outro lado, os incêndios são também os culpados na transformação das paisagens. A figura 17 representa os incêndios florestais registados no último par de décadas.

A vegetação, já fraca por todo o Maciço, vai-se vendo fustigada pelo flagelo dos incêndios florestais, totalizando na área de estudo um total de 4831,6 hectares arditos entre 1990 e 1999, e 12224,5 hectares entre 2000 e 2009. Observando-se o mapa, depara-se que a zona mais afetada, e ardida por mais que uma vez, corresponde ao Planalto de S. Mamede, ao setor Oriental do Planalto de Santo António e aos arredores de Amiais de Baixo, onde a vegetação porventura vigorava com maior intensidade. No que refere ao Planalto de Santo António, hoje em dia é de observar uma paisagem despida, um verdadeiro deserto de pedras, por onde se desenvolvem espécies herbáceas e arbustivas, pois encontra-se em fase de recuperação após os incêndios; dadas as condições de adaptação da vegetação e a progressiva introdução de espécies invasoras (em particular o eucalipto, que aproveita os poucos e pequenos retalhos onde há solo disponível), o processo de recuperação que era lento, ainda mais lento ficou.



**Figura 17** - Incêndios florestais registados dentro da área de estudo, de acordo com dados vetoriais da (ex) Autoridade Florestal Nacional (AFN), entre 1990 e 2009, inclusivé.

Retomando a análise do uso do solo, é de notar o ponteadado de povoações de pequenas dimensões dentro dos limites do Maciço, situando-se onde os solos permitem a prática agrícola (exemplo dos três *Poljes*), ou onde as lagoas permanentes permitem um aproveitamento de água. Pegando nas palavras de Fernandes Martins (1949), “(...) esse montanhês que tantas

vezes emigra para granjear o pão de cada dia, tem um entranhado amor ao seu rincão natal: a ele volta sempre, para, sem inveja às úberes terra baixas, se quedar entre os da sua igualha que, presos aos humildes casais erguidos na proximidade das lagoas, ficaram a vida inteira entre as pedras, arroteando os pequenos tratos, abrindo a rocha a tiros de dinamite a fim de pôr mais uma *trancha*, ou conquistar mais uns palmos de terra onde semear, com largos períodos de pousio (...), sempre na esperança de que a *maresia*, a favor da noite, matará a sede que devora as plantas; e nos lugares entre todos privilegiados – ou seja, nas grandes depressões fechadas e raros vales escancarados, e só aí –, alastram então os campos de batata, os renques de cepas de vide e um bom pedaço de horta”. É com estas palavras que nos faz um apanhado dos modos de vida das gentes do MCE, e da maneira como dispersam as povoações, e como as atividades económicas se realizam. Hoje em dia, com a modernização industrial, dominam algumas indústrias poluentes, como os curtumes ou a suinicultura, que fazem as suas descargas nos poucos cursos de água superficiais, ou em profundidade, diretamente através dos algares, o que vem impor graves problemas de poluição.

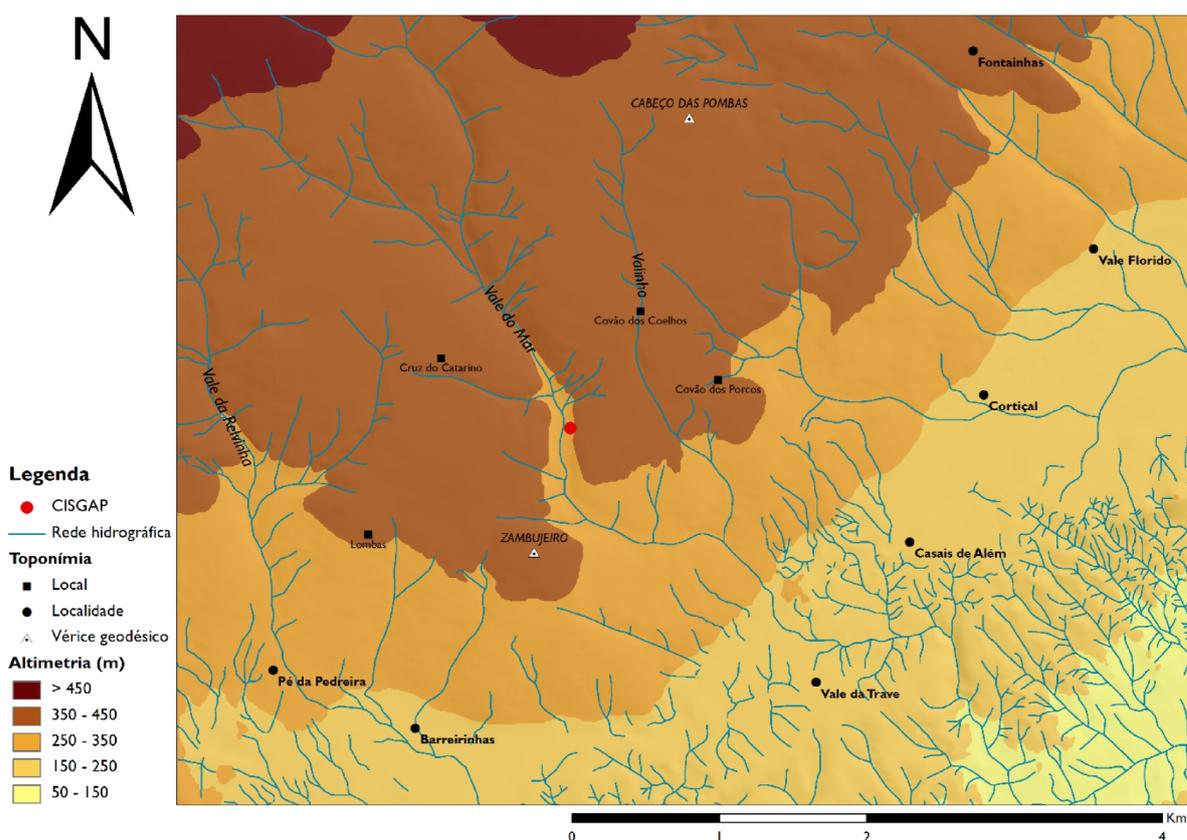
Outro problema relacionado com as atividades económicas é o das pedreiras, em número cada vez maior e com impactos cada vez mais intensos. Na bordadura Sul do Planalto de Santo António é constante a existência de numerosas pedreiras que deixam profundas cicatrizes na paisagem, onde se destacam não só as pedreiras de extração de calcários para fins ornamentais, mas também uma enorme extensão de pedreiras de extração de calcário para calçada, agregados para a construção civil, indústria química e cal (Carvalho J. M., 2013). Impõem impactos ambientais, paisagísticos e, escondido dos olhares distraídos, nas grutas, pondo em causa o normal funcionamento espeleogenético nos seus interiores. O Algar do Pena com certeza não será exceção...

#### **2.4. Enquadramento geológico e geomorfológico do Algar do Pena na bordadura Sul do Planalto de Santo António**

O Algar do Pena encontra-se situado numa zona de paisagem cársica típica da bordadura Sul do Planalto de Santo António (figura 18): declive que acompanha o pendor pouco acentuado para Sul, com ampla visão para a Bacia Terciária do Tejo, desenhando a plataforma carsificada de Murteira-Vale da Trave-Cortiçal (que se estende desde o Sul de Pé da Pedreira até perto de Monsanto), e que do ponto de vista geológico, traduz a passagem de um relevo calcário (Jurássico) soerguido pela falha dos Arrifes, em relação a um modelado rebaixado e

aplanado do Cretácico e essencialmente do Cenozoico, com alguns afloramentos calcários pelo meio.

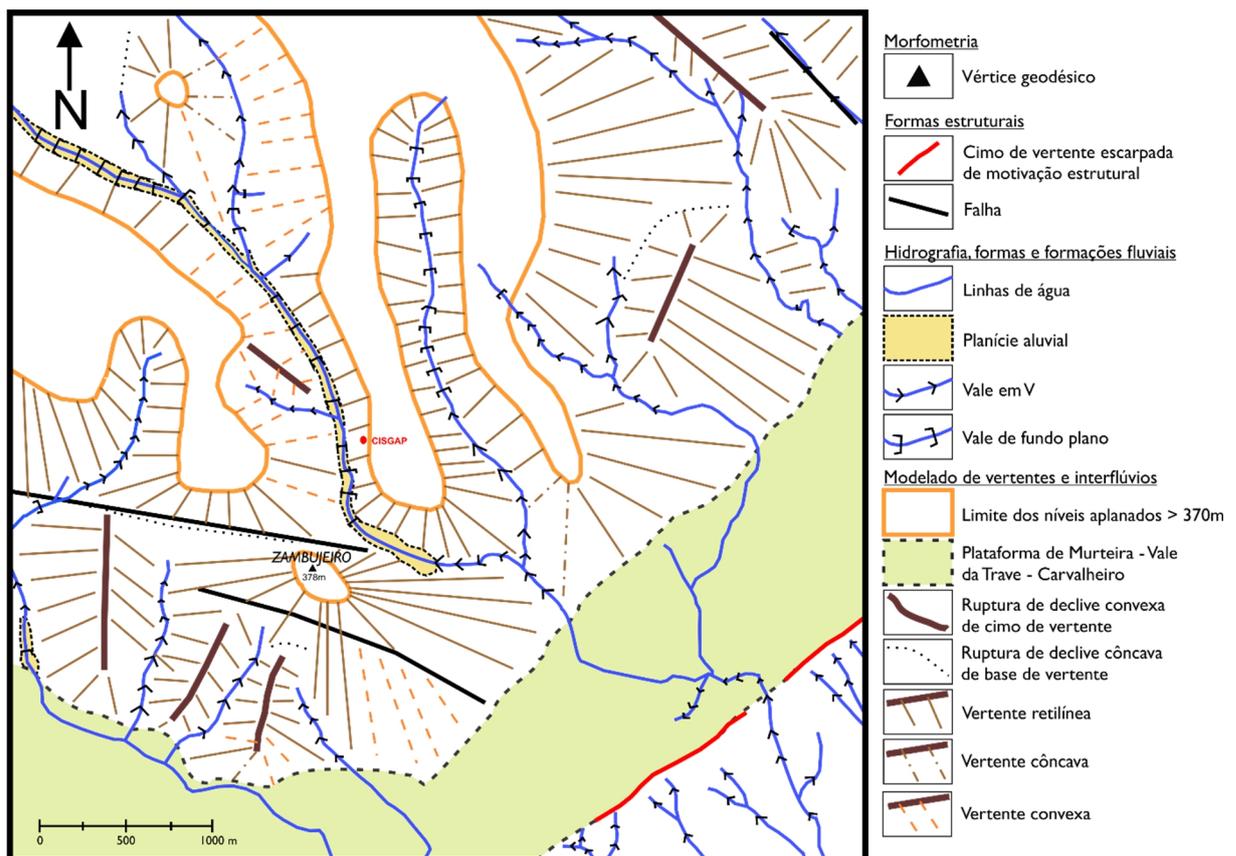
No panorama geomorfológico, e comparando a figura 18 com a 19, verificam-se padrões no modelado destacáveis a olho nu, como uma superfície tendencialmente aplanada ladeada por uma escarpa, fruto dum cavalgamento, e seguidamente numa área deprimida onde a organização dos cursos de água se dá numa forma completamente diferente àquela das cotas mais elevadas; por sua vez, onde as cotas são mais elevadas, as linhas de água fazem-se sentir segundo um declive suave por todo o quadrante Norte, escavando vales e organizando os ténues cursos de água numa orientação NW-SE, o que acaba por ser também um padrão geral da fraturação e alinhamentos por todo o MCE; estas acabam por desaparecer, aparecendo tenuamente por toda a plataforma carsificada de Murteira-Vale da Trave-Cortiçal. Esta orientação dos vales poderá estar associada às pequenas dobras ocorridas por alguma força perpendicular à sua orientação, que acaba por evidenciar alguma situação semelhante àquela descrita na figura 30.



**Figura 18** - Mapa de enquadramento do Algar do Pena no panorama da vertente sul do Planalto de Santo António.

Considerando o esboço geomorfológico da figura 19, evidencia-se a planura tendencial do modelado, em particular pela cota dos 370 metros, bem como da já referida Plataforma de

Murteira-Vale da Trave-Carvalho (ou de Murteira-Vale da Trave-Cortiçal, conforme os autores e a consideração das povoações mais perto dos seus extremos). Esta última representa o rebordo final do Planalto de Santo António, que assume um “cotovelo” de orientação WNW-ESE e sucessivamente SW-NE. Os níveis de aplanamento acima dos 370 metros foram assim considerados pela sua homogeneidade de declives acima dessa cota, sendo cortados pelos vales escavados nos calcários micríticos de Serra de Aire ( $J^2_{SA}$ ); no entanto, os calcários de Pé da Pedreira ( $J^2_{PP}$ ) são aqueles que revelam uma maior resistência à ação mecânica das águas, observando-se uma tendência a que os vales se escavem no seu rebordo, enquanto que do lado oposto, os materiais correspondentes aos calcários bioclásticos de Codaçal ( $J^2_{Co}$ ) apresentam-se notoriamente escavados por vales em V, onde as planuras são praticamente inexistentes. Porventura, esta diferença de escavamento nos diferentes materiais aparenta traduzir uma resistência ao desgaste dos elementos de W para E, considerando inclusivamente que a tectónica terá o seu papel na definição dos pendores para melhor atuação dos agentes erosivos.



**Figura 19** - Esboço geomorfológico da área envolvente ao CISGAP, realizado com recurso a fotografia aérea do voo americano de 1958.

Por outro lado, é nos calcários de Serra de Aire ( $J^2_{SA}$ ) que se verifica a existência dos níveis de aplanamento, das planícies aluviais e da própria Plataforma de Murteira-Vale da Trave-

Carvalho, o que considerando um posicionamento mais baixo, uma maior dureza dos calcários e conseqüente imunidade cársica das superfícies, assumem-se como um verdadeiro setor de recepção de toda a panóplia de produtos erosivos daquela e das outras unidades geológicas envolventes.

Na busca de padrões gerais do modelado, recorreu-se à interpretação de fotografia aérea (estereoscopia), imagem de satélite, MDT e *hillshades*, com particular destaque aos lineamentos estruturais definidos de acordo com a metodologia de Gomes (2008), a que aqui nos referimos pura e simplesmente como alinhamentos. Segundo este autor, são numerosas as designações e, conseqüentes definições do termo “lineamento” e “vários atributos estão normalmente ligados ao termo como “traço de fratura”, “lineamento geológico”, “lineamento fotointerpretado” ou “lineamento geofísico”, assumindo-se desse modo a origem da estrutura linear ou noutros casos, os dados de onde provêm”. Assim, recorreu-se a dois tipos de interpretação: por dedução a partir da rede hidrográfica e por fotointerpretação.

Respeitando aos alinhamentos deduzidos a partir da rede hidrográfica entende-se:

- Quando se verifica um curso de água com traçado retilíneo durante grande extensão do seu traçado;
- Quando há dois cursos de água que se encontram no mesmo alinhamento (mesma direção, independentemente do sentido que tomam), convergindo para um rio principal ou divergindo a partir de nascentes opostas;
  - Quando vários cursos de água, ou troços de cursos de água, se encontram no mesmo alinhamento;
  - Quando se verifica um conjunto de vales encaixados, retilíneos e paralelos;
  - Ou quando há combinações das situações anteriores.

Quanto aos deduzidos por fotointerpretação, consideram-se:

- Lineamentos com escarpa visível;
- Lineamentos sem escarpa visível;
- Lineamentos paralelos ou idênticos com os respetivos abruptos morfológicos;
- Lineamentos morfológicos continuados pela mancha vegetal ou hidrográfica;
- Lineamentos que cruzam cumes e cristas de elevações;
- Incisões retilíneas na topografia.

Tratando de evitar quaisquer considerações críticas relativamente aos levantamentos efetuados, lança-se a hipótese de que há indubitavelmente casos de alinhamentos que coincidam com fraturas ou falhas, que mesmo assim acabam por coincidir com as tendências tectónicas e morfológicas da área de estudo.

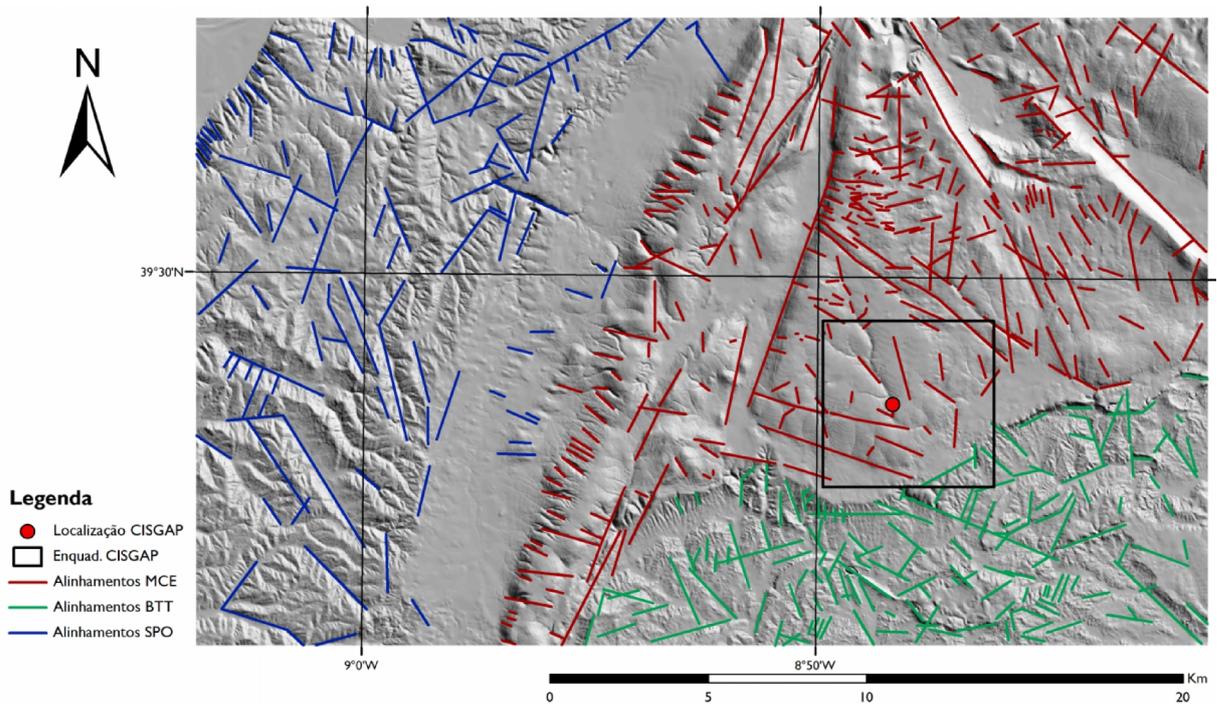
Vários *hillshades* foram construídos com incidências nos quatro pontos colaterais, seguindo o sentido dos ponteiros do relógio, respetivamente 45° (NE), 135° (SE), 225° (SW) e 315° (NW). Os lineamentos levantados são considerados a partir de um gráfico geral, e divididos em três famílias, de acordo com a figura 8 do Capítulo 2 desta dissertação: os alinhamentos da Superfície Pliocénica Ocidental (SPO), do Maciço Calcário Estremenho (por outras palavras, os correspondentes aos blocos soerguidos do MCE) e da Bacia Terciária do Tejo (BTT). Os respetivos diagramas de rosa foram construídos de acordo com os azimutes traçados nas *polylines* em *software* SIG para cada uma das 3 famílias, sucessivamente construídas em *software* de tratamento para o efeito (*Rozeta*), representando a frequência de ocorrências para cada rumo<sup>13</sup>.

De acordo com o trabalho de Carvalho (2013), serão postos à prova de acordo com o seu mais elaborado e completo levantamento de falhas e fraturas (figura 23), em que se demonstra o paralelismo entre estas e os alinhamentos marcados (cf. Carvalho (2013), figura 206, pág. 319). No entanto, a olho nu não é de fácil entendimento as similaridades, pois este autor subdivide a aqui considerada família MCE em vários domínios de igual padrão de diaclasmamento, como sendo o Planalto de Santo António, Fórnea, Alvados, Depressão da Mendiga, Serra dos Candeeiros e Depressão de Alcobaça.

A divisão em 3 famílias diferentes de alinhamentos permite, também, compreender os padrões gerais para cada uma delas, facilmente verificáveis para as respetivas cores:

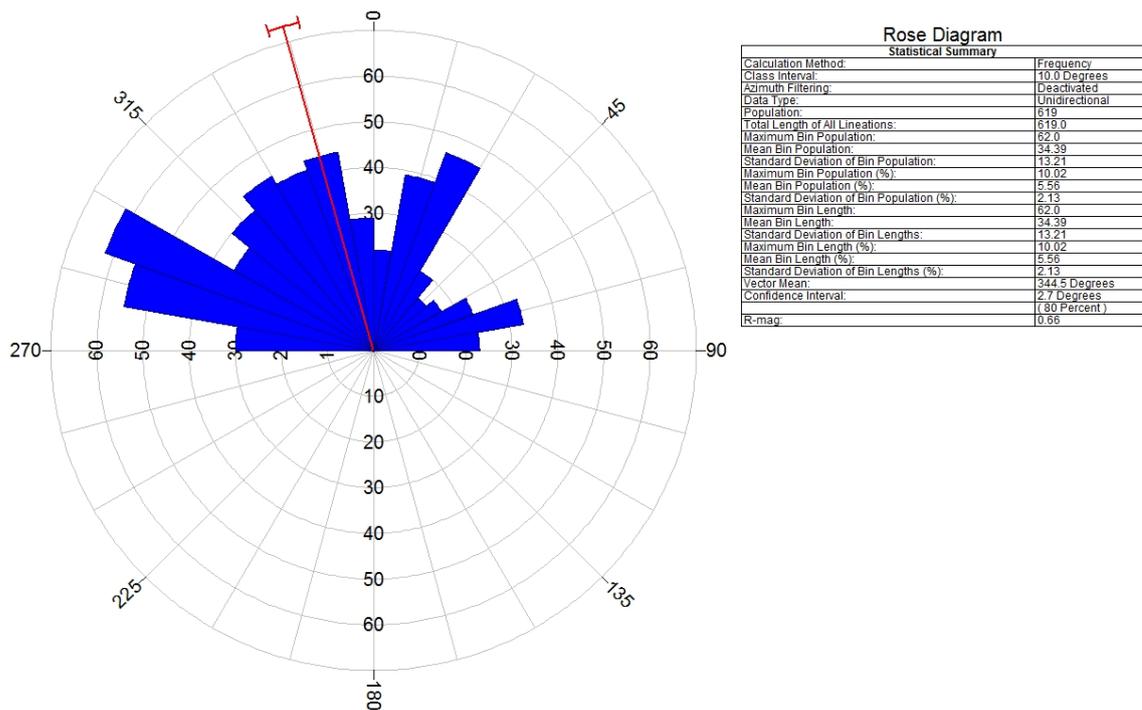
---

<sup>13</sup> Será importante realçar que para a ideal transformação dos azimutes para representação teve que ocorrer uma transformação do sistema de coordenadas de “Lisboa Hayford Gauss IGeoE” para “WGS 84 World Mercator”, para que a perda de precisão fosse a mínima possível.



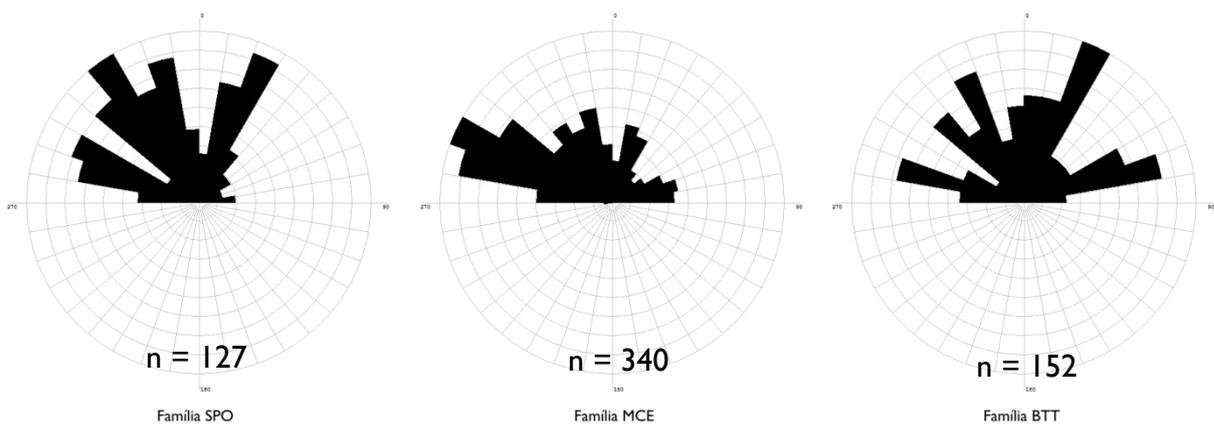
**Figura 20** - Hillshade ao MDT da área de estudo, filtro direcional N 45° E (NE), altitude 45.

Como resultado final, obtém-se um traçado total de 619 *polylines* traçadas para a área de estudo. Tratando-se simplesmente de alinhamentos seguindo um azimute, não tendo sido posto em consideração o sentido e os pendores. A figura 21 apresenta a frequência de alinhamentos para cada um dos rumos, que depois é dividida em cada uma das famílias, demonstrando em parte a tendência de fracturação para as demais unidades geológicas do MCE. Assim, em primeira análise, dominam os alinhamentos de sentido NW-SE e NNE-SSW, com uma insistente prevalência em torno do rumo NNW-SSE. Como tal, a média dos rumos marca-se neste último sentido, o que se virá a denotar na subdivisão em cada uma das famílias.



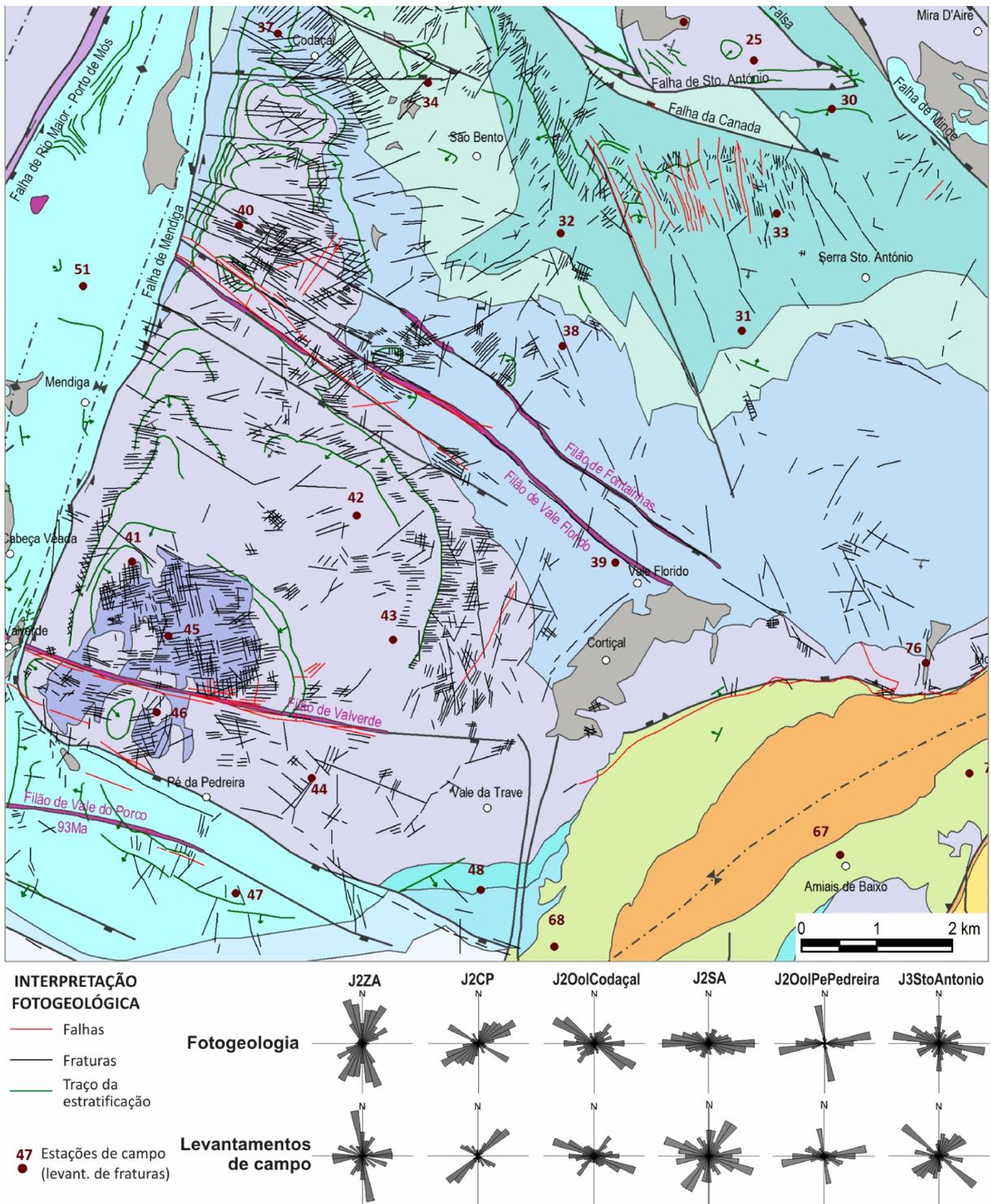
**Figura 21** - Diagrama de rosa do total de alinhamentos marcados e seu resumo estatístico.

Da subdivisão em cada uma das famílias entendem-se padrões de alinhamentos muito caraterísticos, mas que sofrem de uma similaridade comum. Por exemplo, observa-se uma prevalência em torno do rumo NW-SE, como pode comprovar a figura 20; ou fora do maciço, a prevalência na SPO e na BTT do rumo NE-SW que já representa uma tendência geral do traçado regional.



**Figura 22** - Diagramas em rosa para as diferentes famílias de alinhamentos na área de estudo.

Muitas outras observações podem ser retiradas da análise das rosas, mas o importante será comparar o que se nas imediações do Algar do Pena com as interpretações foto-geológicas de Jorge Carvalho (2013), e com a estrutura interna da cavidade.



**Figura 23** - Extrato da interpretação fotogeológica do Planalto de Santo António (Carvalho J. M., 2013), adaptado.

Não recorrendo às rosas mas fazendo uma análise direta da distribuição de alinhamentos da família MCE com as rosas de cada uma das subdivisões que este autor apresenta no seu trabalho, encontram-se os padrões que se procuravam:

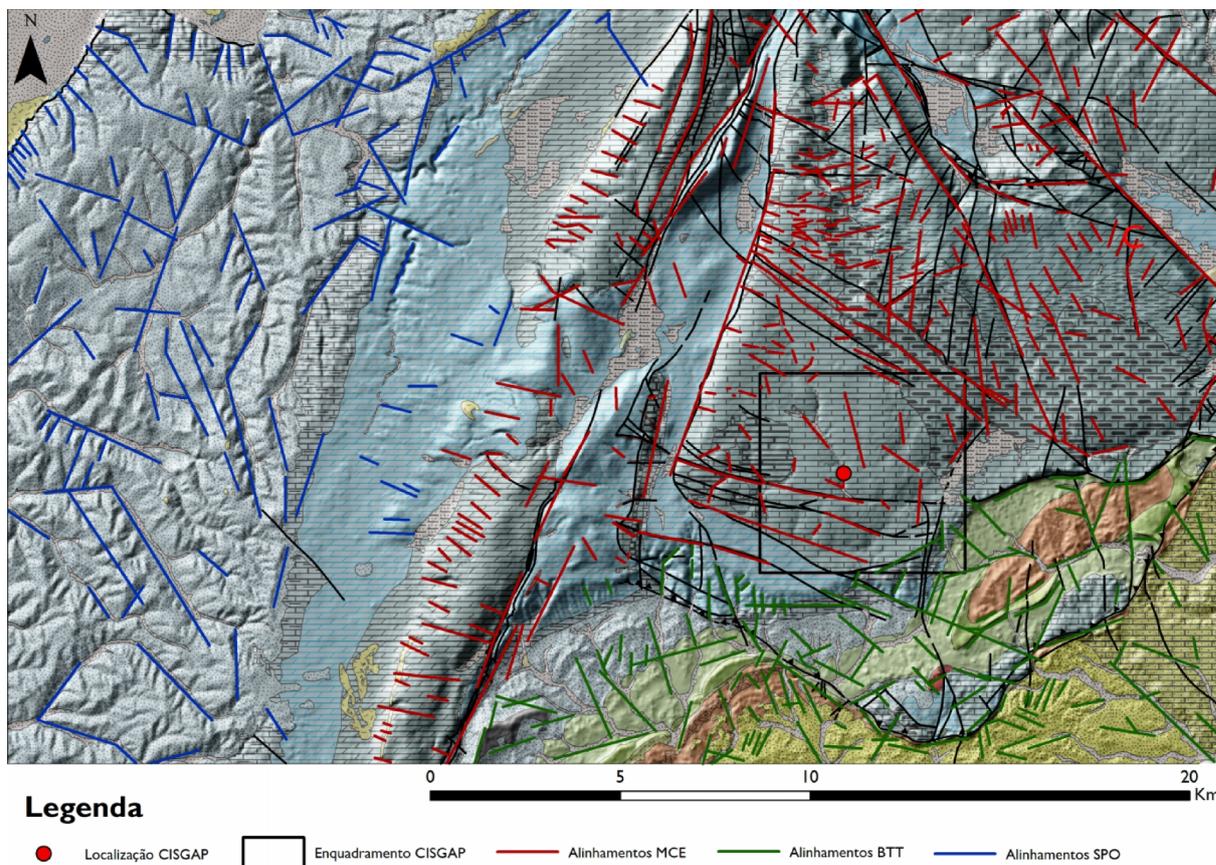
1. No Planalto de Santo António, e de acordo com as rosas de cada uma das unidades geológicas apresentadas na figura 23, verifica-se:

- a. Margas e calcários margosos de Zambujal ( $J^2_{Za}$ ): predomínio das orientações NNW-SSE, NNE-SSW e WSW-ENE, que se encontram em sintonia com os levantamentos efetuados, incluindo a pequena frequência de alinhamentos SW-NE perpendiculares às escarpas de Minde e Alvados;
  - b. Calcários de Chão das Pias ( $J^2_{CP}$ ): predomínio das orientações NE-SW, e uma parte de orientação NW-SE, que por sua vez já se revelam pouco coincidentes com o levantamento feito à exceção dos NE-SW, predominando então aqueles N-S e NNW-SSE. Os alinhamentos traçados nesta unidade geológica aparentam ter algum paralelismo com as falhas marcadas na cartografia geológica que permitiram as escarpas de Alvados e Minde, bem como com as falhas paralelas a essas falhas, e quando não paralelamente notáveis, muito próximo disso; apresentam também uma tendência perpendicular às falhas;
  - c. Calcários bioclásticos de Codaçal ( $J^2_{Co}$ ): adjacentes à unidade anterior, predomina a orientação NW-SE, com alguma frequência também W-E e NE-SW. Nos alinhamentos marcados verifica-se alguma relação com aqueles NW-SE e W-E, embora que pouca; no entanto, tal como na unidade  $J^2_{CP}$ , apresentam uma maior rotação àqueles perpendiculares, fugindo à orientação NE-SW e apresentando-se ENE-WSW;
  - d. Calcários micríticos de Serra de Aire ( $J^2_{SA}$ ): verifica-se frequências similares em todos os rumos, mas com particular ênfase W-E, NNE-SSW e WNW-ESE. Nos alinhamentos levantados verifica-se uma tendência a um sentido NNW-SSE a juntar àqueles definidos na figura supramencionada;
  - e. Calcários de Pé da Pedreira ( $J^2_{PP}$ ): separados em dois afloramentos (a W do CISGAP e nas imediações de Valverde), predominam as direções NNW-SSE e WSW-ENE. Pelo levantamento feito, verifica-se que os alinhamentos coincidem com esses rumos, acrescentando as orientações WNW-ESE e NNE-SSW que os atravessam e têm continuidade para os materiais adjacentes  $J^2_{SA}$ .
2. O setor da Fórnia de Alvados (onde se verificam calcários margosos e margas da Fórnia ( $J^{1-2}_{Fo}$ ) e os  $J^2_{Za}$ ) apresenta uma fracturação (e diaclasamento) dominante em torno do rumo NE-SW, com prevalência inferior nos rumos WNW-ESE, NNW-SSE e NNE-SSW; na distribuição de alinhamentos marcados verifica-se a dominância predominante de NE-SW, bem como alinhamentos perpendiculares, em torno da orientação NW-SE.

3. Naquele que foi considerado o setor de Alvados (a SE do respetivo *polje* e toda uma vasta área na vertente superior da escarpa de falha), apontam-se como orientações dominantes os rumos N-S e W-E, o que comparando com os alinhamentos demarcados, são de pouca dominância, prevalecendo essencialmente aqueles de sentido NW-SE e os WSW-ENE, o que mais uma vez vem demonstrar um paralelismo às falhas marcadas em cartografia geológica, bem como também uma perpendicularidade.
4. Para a depressão da Mendiga, que ladeia a Ocidente o Planalto de Santo António, verificam-se orientações que por si são denunciadoras da forma da própria depressão, dominando no sentido NNE-SSW, e tendo sido distinguida também como dominante a orientação ENE-WSW, com uma pequena variação no sentido NNW-SSE; dos alinhamentos marcados, apenas foram marcados os dominantes de sentido NNE-SSW, que acompanham a tendência da disposição do terreno soerguido que a ladeia.
5. A Serra dos Candeeiros acaba por ser a mais completa do ponto de vista de alinhamentos marcados, pois as numerosas fraturas que a cortam transversalmente são facilmente distinguíveis até pela mais simples imagem de satélite. Assim, Carvalho denunciou como orientações dominantes de WNW-ESE e NNE-SSW, correspondendo àquelas que cortam a serra transversalmente e àquelas que seguem a sua orientação, respetivamente. Com muito menor frequência em todos os outros rumos, também têm visibilidade, associados eventualmente aos vales talhados pelas águas ao longo dessas menores fraturas; a correspondência com os alinhamentos traçados é total.
6. A depressão de Alcobaça, nunca referida no presente trabalho, surge aqui como referência de Carvalho, que corresponde ao espaço colmatado pelas formações detríticas e de *terra rossa* do MCE (A) Holocénicas no do lado oposto da Serra de Aire no paralelo da depressão da Mendiga, com os calcários de Moleanos ( $J_{MI}^2$ ). Este autor evidencia como sentido dominante o de NNW-SSE, com frequências verificáveis também nos sentidos em torno de W-E e NE-SW. Nos alinhamentos levantados para a área desta depressão apenas foi demarcado uma série de alinhamentos a Norte da mesma, com sentido NW-SE, que corta os  $J_{SA}^2$ , passando pelos materiais evaporíticos das Margas de Dagorda ( $J_{Da}^1$ ) e terminando nos  $J_{MI}^2$ , por onde “serpenteia” e terá continuidade para fora da área de estudo.

Em suma, e a respeito da família MCE, verifica-se que os alinhamentos apresentam uma frequência maior em volta da orientação WNW-ESE, com uma tendência a se aproximarem

das orientações NNW-SSE e NNE-SSW, embora que com menor frequência. Esta distribuição anda a par com a fracturação e com a disposição geral do modelado calcário.



**Figura 24** - Mapa geológico (conforme Anexo I) com a marcação dos alinhamentos levantados, consoante cada família.

Quanto às duas outras famílias de alinhamentos para a área de estudo, várias conclusões poderão ser retiradas pelos padrões gerais verificáveis. Começando pela família SPO, observa-se primeiramente a definição de longas linhas de relevo ao longo das orientações NW-SE (onde se incluem os alinhamentos definidos pela Falha de Moleanos), NNW-ESSE e NNE-SSW, que aparentam traduzir um padrão geral para a região, demarcado pelos compridos vales retilíneos por onde as águas fluem livremente ao longo dos materiais facilmente desagregáveis do Jurássico Superior, tidos em conta como “Grés Superiores”.

A família BTT apresenta uma caracterização completamente diferente da família SPO. Observando um *hillshade* é possível reconhecer a passagem de um terreno aplanado a Norte, que quebra bruscamente pela escarpa dos Arrifes (cf. Leal, 2014) e ao mesmo tempo pelas transições do Jurássico para os materiais mais recentes, para um terreno rebaixado e rugoso. No entanto verifica-se que antes do cavalgamento que é a escarpa dos Arrifes se verifica uma colmatação dos materiais Jurássicos por outros do Cretácico e do Paleogénico, que testemu-

nham uma bacia, posteriormente soerguida pela falha, e cortando abruptamente a normal continuidade geológica da região. Assim, nesta família, há um predomínio de alinhamentos de orientação NE-SW, com uma ligeira menor incidência nas orientações WNW-ESE, NW-SW e ENE-WSW. Os alinhamentos nesta família mostram-se numa tendência a seguirem as orientações dos aluviões por onde circulam os atuais cursos de água, bem como a seguirem a falha dos Arrifes ao mesmo tempo que têm um paralelismo com algumas das falhas que se assinalam naquela região; noutros casos, os alinhamentos têm continuidade nas falhas, podendo sugerir uma continuidade das mesmas, uma vez que não se encontram marcadas. Os alinhamentos marcados de orientação N-S, mesmo com menor frequência, têm o seu destaque por se apresentarem a cortar as transições dos materiais do Jurássico para os Cretácicos, traduzível pela apresentação da própria rede de drenagem.

Em suma, e feita esta análise, resta comprovar até que ponto as marcas superficiais no modelado terão influência em profundidade, neste caso, com a estrutura do AP.

## **Capítulo 3**

### **Algar do Pena**

**Uma gruta entre mil e quinhentas tantas mais**

## Capítulo 3

### Algar do Pena: uma gruta entre mil e quinhentas tantas mais

Como forte valor e significado económico na bordadura Sul do MCE, a indústria de extração de calcário para fins industriais e ornamentais, levou a que a Gruta do Algar do Pena fosse descoberta no ano de 1983, aquando duma explosão para destacamento de pedra, pondo a nu a entrada histórica daquela cavidade. Batizada pelo nome do Sr. Pena, proprietário daquela pedreira, tinha como fim o uso daquele calcário para calçada portuguesa. Feita a primeira descida ao seu interior, ao longo de 35 metros na vertical, deparou-se com uma sala ampla, avaliada com um volume de cerca de 105 000m<sup>3</sup>.

Esta gruta é constituída por uma grande sala alongada na direção NE-SW, com cerca de 20m de largura máxima, uns 70m de comprimento e 50m de altura, e atingindo uma profundidade de 85 metros. Desde cedo se começou com estudos, efetuados por uma equipa de espeleólogos do PNSAC e, mais tarde, investigadores das várias universidades, que começaram a desenvolver interesse no seu conhecimento, dos quais se destaca o nome do Doutor José António Crispim, do Centro de Geologia da Universidade de Lisboa. Deste ponto de partida, o Algar do Pena foi dotado de instalações aptas à investigação e, também, à visita pelo público para efeitos turísticos, pedagógicos, didáticos ou meramente lúdicos (por espeleólogos certificados), sempre com marcação prévia, a fim de se preservar o espaço geológico e o ecossistema dos impactos negativos humanos, permitindo assim mantê-lo o máximo possível semelhante àquele que fora encontrado pela primeira vez.

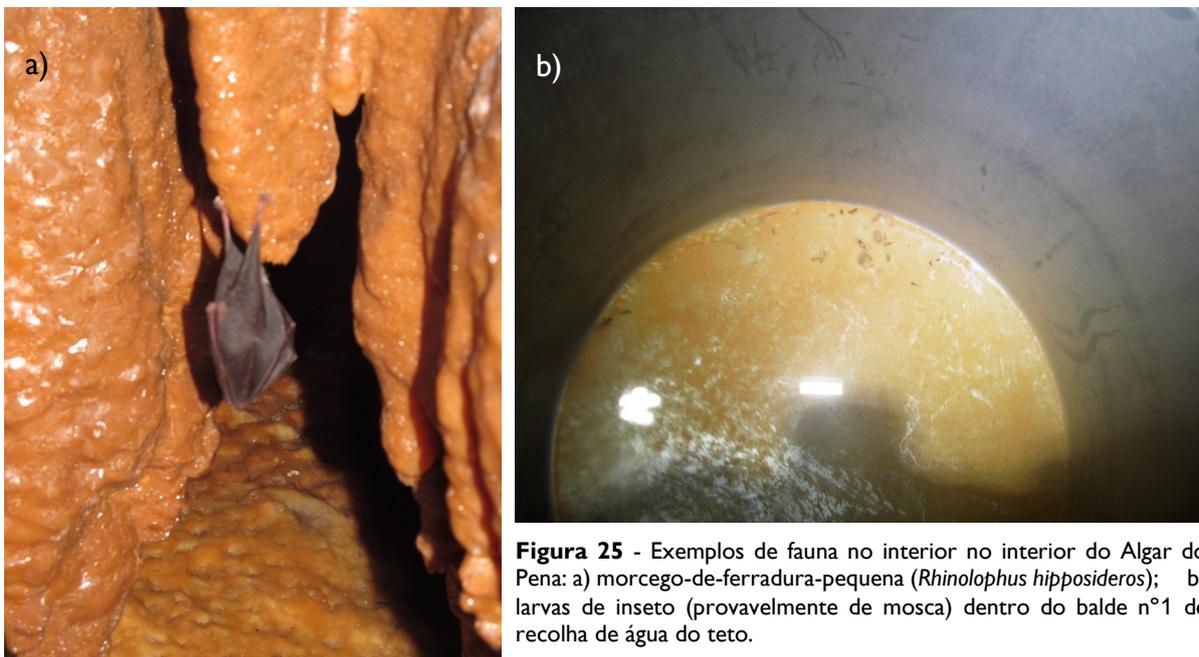
O Algar do Pena (AP) é, também, a sala com maior volume em território nacional, dotada de uma grande espetacularidade comparativamente a outras grutas do espaço europeu; trata-se de um algar de abatimento com uma grande sala cónica alongada no sentido NE-SW e com toda uma panóplia de espeleotemas muito interessantes do ponto de vista pedagógico e científico. Tem uma temperatura constante ao longo do ano entre os 13°/14°C, e com uma humidade relativa de cerca de 99,8%. No seu interior pode-se encontrar fauna e flora adaptados à escuridão, desde pequenos insetos albinos, fungos, morcegos, entre outros mais. De entre as espécies animais encontradas no AP destacam-se o bicho-de-conta troglóbio<sup>14</sup> (*Trichoniscoides meridionalis*, endémico do MCE), a centopeia troglófila<sup>15</sup> (*Lithobius pilicornis*), o colêmbolo troglóbio (*Onychiurus confugiens*, base da cadeia alimentar dentro do AP), a aranha

---

<sup>14</sup> Troglóbios são aqueles espécimes faunísticos especializados em viver dentro das cavernas.

<sup>15</sup> Troglófilos são todos aqueles animais que tanto podem viver dentro das cavernas como à superfície.

troglóbia (*Nesticus lusitanicus*) ou o trecus (*Trechus gamae*). Todos estes seres encontram-se amplamente difundidos pelas grutas do MCE e do Centro de Portugal.



**Figura 25** - Exemplos de fauna no interior no interior do Algar do Pena: a) morcego-de-ferradura-pequena (*Rhinolophus hipposideros*); b) larvas de inseto (provavelmente de mosca) dentro do balde nº1 de recolha de água do teto.

A sua principal abertura, ou seja, aquela primeiramente encontrada nos processos de dinamitação enquanto antiga pedreira, encontra-se a cerca de 15 metros acima do nível de talvegue do vale que lhe é adjacente (Vale do Mar), enquanto o ponto mais fundo da gruta se encontra a mais de 60 metros abaixo do nível do mesmo.



**Fotografia 8** - Vista SSE-NNW a partir do CISGAP, evidenciando a paisagem geral em redor do Centro, nomeadamente o Vale do Mar ou as pedreiras, que pouco visíveis na fotografia, dominam um pouco por todo o lado.

É mote geral em toda a área exterior da gruta uma paisagem estéril, de vegetação esparsa e maioritariamente dos estratos herbáceo e arbustivo, de onde se destaca o medro-neiro (*Arbutus unedo*) no arbustivo e, do estrato arbóreo, os carrascos e as oliveiras, que

traduzem uma flora tipicamente mediterrânea. Os solos são difíceis de encontrar longe dos vales, à exceção dos raros locais onde se verificam processos de erosão ativa à superfície, denunciados especialmente junto do CISGAP pelos espaços argilosos entre os lapíás que lá se desenvolvem; a flora aproveita também as juntas de estratificação dos calcários, por onde as raízes se inserem à procura de água em profundidade. A sua presença encontra-se diretamente associada com os pendores dos calcários de Serra de Aire presentes na zona, com cerca de 6° e com mergulho para SE. Os curtos e fracos solos verificáveis limitam-se a espessuras de centímetros, não ultrapassando em média as duas dezenas, e atingem maiores profundidades onde as raízes de indivíduos de maior porte aproveitam as fraturas na rocha já previamente aproveitadas pela dissolução do calcário. Nos solos mais profundos e, em especial, nos terrenos aluvionares, aparecem também espécimes arbóreos tipicamente mediterrâneos, como sobreiros, castanheiros, azinheiras ou ciprestes, muito à semelhança de das descrições de Fernandes Martins para o panorama geral do MCE.



**Fotografia 9** - Um pouco acima do CISGAP, vestígios da atividade de pedreira, pondo a nú profundas pias de dissolução que se desenvolvem ao longo de fendas de orientação SW-NE.

Pelo trabalho de campo efetuado verifica-se a existência nas imediações do CISGAP de duas cavidades subdesenvolvidas, nomeadamente o Algar das Gralhas (a Oeste) e o Algar do Pipas (a Sul), distanciados do CISGAP por poucas centenas de metros. Pela observação direta poder-se-á concluir que a génese de ambos os algares estará essencialmente associada a pro-

cessos de dissolução ao longo de fraturas na rocha, que assumem uma construção muito semelhante a pias de dissolução ao longo de uma fratura, mas que se desenvolvem em profundidade (pouco mais de uma dezena de metros). Não terão maior desenvolvimento vertical por colmatagem progressiva dos seus fundos, entulhados por blocos, clastos e argilas, que de certo modo condicionam a dissolução em profundidade e, conseqüentemente, a conexão a outras cavidades subterrâneas até então desconhecidas.

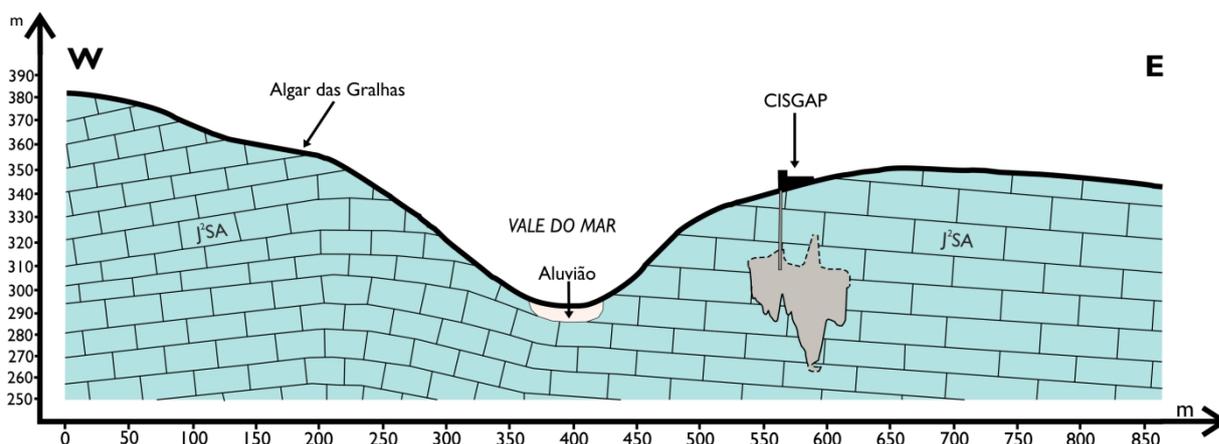
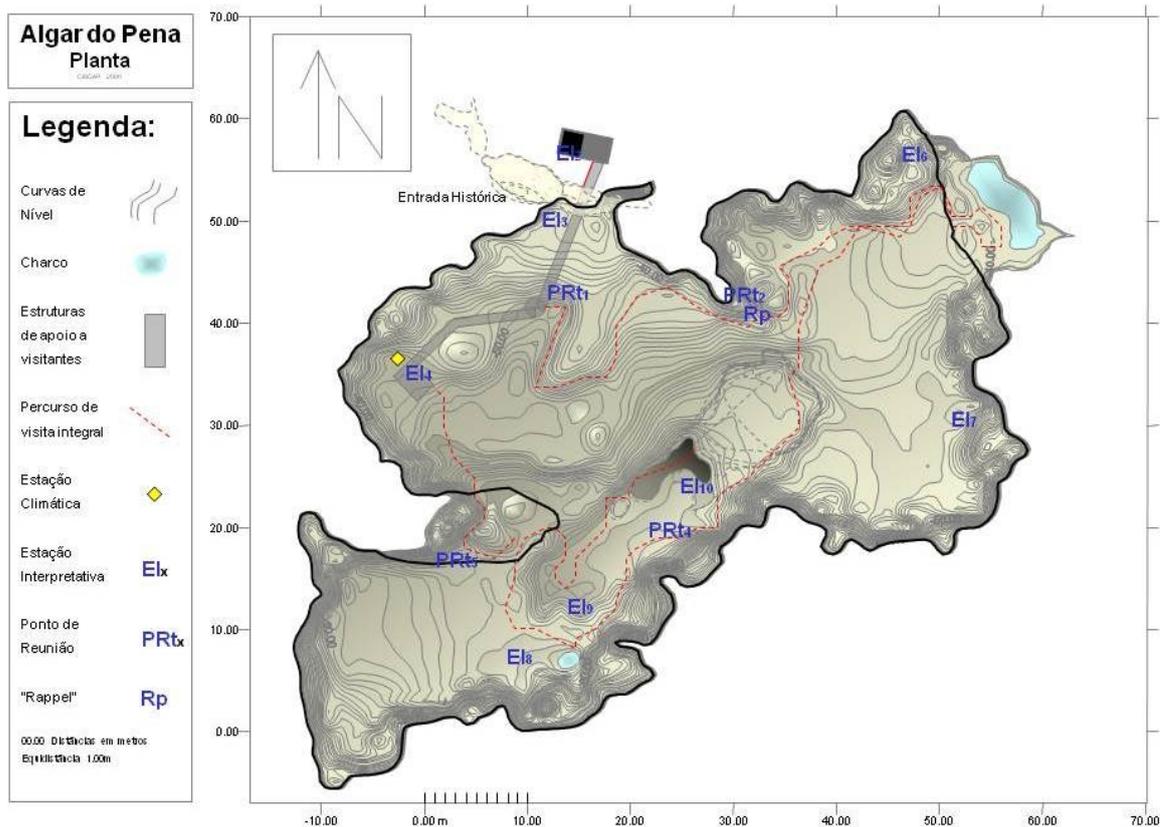


Figura 26 - Corte geológico referente aos arredores do CISGAP, com base na informação obtida em campo.

### 3.1. Constituição estrutural

Ao entrarmos no interior do Algar do Pena, deparamo-nos com uma paisagem tipicamente cavernícola: paredes irregulares, estalactites e estalagmites um pouco por todo o lado, uma total desarrumação de rochas que parecem caídas de todo o lado, rocha húmida com aspeto de lama escorregadia, que causam sempre um certa confusão à primeira vista.

Tal como foi dito no início deste capítulo, o Algar do Pena apresenta-se como uma estrutura alongada NE-SW, apresentando-se como uma grande sala aberta, ampla e de grande dimensão. A figura 27 apresenta a planta da cavidade, em “formato simplificado”, evidenciando as suas principais características.



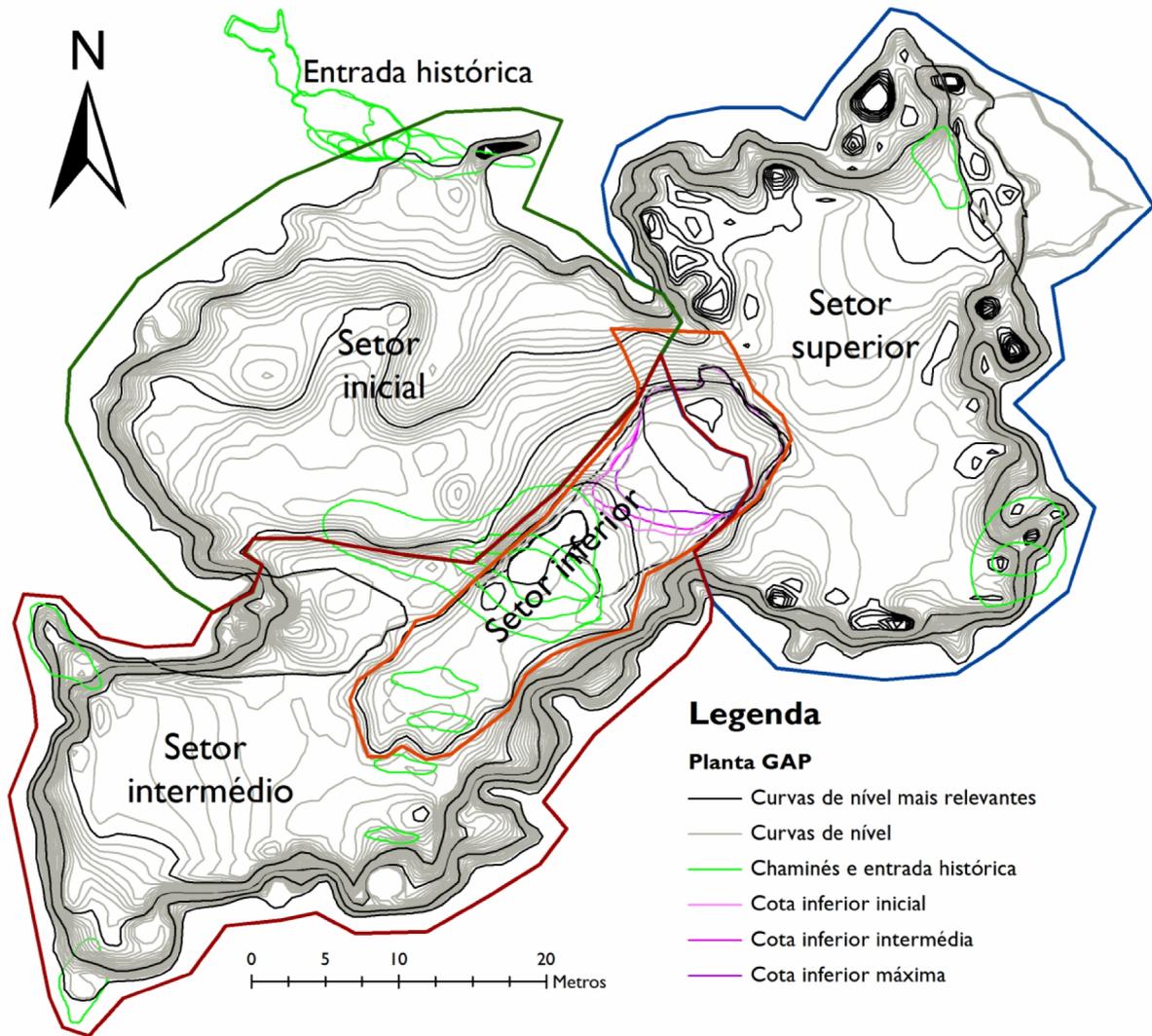
**Figura 27** - Cartografia da GAP em uso pelo CISGAP, com base na informação vetorial elaborada por extrapolação dos dados topográficos levantados após a sua descoberta (Fonte: CISGAP).

### 3.1.1. Setores internos

Para melhor ser feita uma caracterização interna do Algar do Pena, dividiu-se a sua planta em setores, onde as características morfológicas seguem uma tendência própria, diferente de um setor para outro.

Assim, a planta do Algar do Pena foi dividida em quatro setores:

- Setor inicial – onde se situam as estruturas de apoio aos visitantes, com declives no chão muito mais acentuados em relação aos outros setores, e de onde se tem uma vista para a magnificência da cavidade, e com uma maior proximidade com o teto. É neste setor que se faz a ligação à superfície, quer pelas infraestruturas construídas, quer pela entrada histórica.



**Figura 28** - Setores internos definidos para a Gruta do Algar do Pena (equidistância: 1 m).

- Setor intermédio – onde após uma descida com suporte de material de segurança em espeleologia, nos situamos em posição de vislumbrar todos os outros setores, e verificamos a estrutura alongada da cavidade. É o setor de chão mais aplanado, sendo apenas contrariado pela depressão que corresponde ao setor inferior e onde as estalagmites apresentam bases mais largas. Neste setor foi feita uma amostra de espeleotemas para análise das condições de desenvolvimento dos mesmos e da morfologia da cavidade.
- Setor inferior – corresponde à superfície com as cotas mais baixas da gruta. Este pode-se considerar bipartido em dois subsetores, o primeiro a montante, visível de qualquer um dos outros setores e ponto de chegada dos materiais trazidos dos outros setores, e o segundo, onde se atinge a profundidade máxima da cavidade (c. 80m) e local de acumulação para onde esses materiais tendencialmente não de se deslocar. É neste

setor que a influência do gotejo de água é menor; é também onde se verifica um verdadeiro caos de blocos, não totalmente concrecionados, mas já parcialmente envoltos numa cobertura de cristais de calcite.

- Setor superior – situado na área NE da cavidade a uma cota cerca de 8m acima do setor intermédio, apresenta um chão de declives mais suaves, e também onde se verifica um caos maior de espeleotemas, tanto no chão como no teto. Aqui foi feita uma recolha de espeleotemas, com particular ênfase na localização mais interna do setor, com cartografia a pormenorizar este local.

### 3.1.2 Análise setorial

A necessidade de conhecer cada setor interno do AP é fundamental para se averiguar a morfologia interna da gruta, decifrando-se a sua geomorfologia, os depósitos, as (eventuais) influências da tectónica e as suas manifestações, levando-nos deste modo a entender as dinâmicas do passado vistas pelos olhos de hoje.

Ilustrando a geomorfologia do AP, foi realizado um esboço geomorfológico da cavidade (Anexo II), que contempla as formas e o tipo de depósitos inventariados. Tendo-se apostado na setorização interna, apresentam-se as características de cada um deles; servindo-nos da informação contemplada na figura 27, adotar-se-ão as Estações Interpretativas assinaladas no percurso turístico integral da cavidade, acrescentando-lhe outras mais.

Para a interpretação deste esboço geomorfológico, constrói-se a sua legenda, seguindo o modelo de Delannoy *et al.* (2004); partindo da simbologia de Crispim (1985) e da União Internacional de Espeleologia (UIS), de 1999, chega-se ao produto final, que mais não é que uma tentativa de miscelânea de simbologias de diferentes autores, adaptadas de quando a representação gráfica era ainda feita a preto e branco, conjugada com uma representação a cores mais expressiva, como Delannoy *et al.* (2004) fizeram para gruta Chauvet, em França, uma gruta bastante importante do ponto de vista arqueológico.

A construção deste esboço geomorfológico e da respetiva legenda assentou em vários princípios: primeiro, acrescentaram-se correções à topografia, que em muito carece de precisão ou da melhor expressão, como se pode verificar um pouco por todo o modelo constante em anexo II; segundo, a inventariação das formas através de observação *in situ*, marcando-as em cartografia como consta das figuras 27 e 28, selecionando as curvas de nível melhor exemplificadoras do modelado, averiguou-se quais as formas do relevo mais relevantes e acrescentou-se simbologia como forma de melhor exprimir a topografia; por último, e não menos

importantes, sem ir ao pormenor absoluto, marcaram-se os principais depósitos espeleogénicos, e descreveram-se quantitativamente alguns deles (amostra).

Conforme a legenda do Anexo II, subdividiu-se a representação geomorfológica em sete grupos: topografia de base; contexto topográfico e/ou lito-estrutural; hidrologia; depósitos detríticos; depósitos litoquímicos; indícios antrópicos e pré-históricos; outras simbologias.

- 1) Topografia de base: apresentam-se os contornos das curvas de nível para cada um dos elementos com particular interesse. A título de explicitação de alguns elementos, quando nos referimos a limites inferiores de reentrâncias, falamos da(s) curva(s) de nível que a cartografia original contemplava para as cotas inferiores do setor inferior, e do setor superior (neste caso, pormenor na figura 54), como delimitação mais profunda daqueles espaços mais reentrantes<sup>16</sup>. Neste grupo incluem-se as correções, acrescentos e adaptações à cartografia de base já existente, entendidas através do trabalho de campo e merecedoras de expressão gráfica.
- 2) Contexto topográfico e/ou lito-estrutural: decidiu-se incluir nesta secção os alinhamentos de estalactites pois são evidências verificadas no teto, da influência do diaclasmamento da rocha, e que se comprovam nos pontos inferiores da vertical dos mesmos, pela igual presença de alinhamentos de estalagmites<sup>17</sup>. Tratando-se de depósitos químicos, são fruto de influências lito-estruturais, pelo que sempre que marcados exprimem a presença de alinhamentos de estalactites no teto e por conseguinte, de alinhamentos de estalagmites no chão.
- 3) Hidrologia: as evidências de escoamento hidrológico dentro da gruta. Inventariam-se dois lagos, e ambos têm maior ou menor dimensão conforme a estação do ano, ou seja, conforme o maior ou o menor *input* de água de gotejo. Também se registam vestígios de escoamento nas paredes da cavidade que denunciam a circulação da água em tempos passados, em que dominaria um regime freático, e que vêm acompanhados de couraças ferruginosas, como se verá mais à frente.

---

<sup>16</sup> Também aqui se incluem as curvas de nível ocultas, referentes explicitamente à delimitação do setor inferior no modelo geral, de onde sucessivamente se fez uma pormenorização à parte no mesmo anexo para não criar ilegibilidade da cartografia.

<sup>17</sup> Nem sempre os alinhamentos de estalagmites são verdadeiramente evidentes, pois por um lado no teto pode-se dar um desenvolvimento de grandes estalactites e em grande número, e no chão termos estalagmites pouco salientes, ou em número pouco significativo, o que é indício que não há grande acreção de espeleotemas, por exemplo, porque a altura da queda do gotejo é demasiado elevada para que a resistência do ar “destrua” as gotas de água em plena queda; por outro lado, pode acontecer o oposto, a existência de pequenas estalactites no teto, mesmo que em pequeno número, constroem estalagmites de grandes dimensões. Poder-se-á tratar, neste caso, de influências dos depósitos sobre a gruta, influenciando e canalizando o gotejo do teto e, conseqüentemente, a acreção dos espeleotemas basais.

- 4) Depósitos detríticos: evidenciam todas as formas encontradas que são fruto da ação mecânica da água ou da atração da gravidade. Nesta secção há a considerar em atenção especial, três grupos de depósitos. Primeiro, os cones de dejeção consolidados por cobertura estalagmítica (setor inferior), foram considerados como detríticos porque primeiro foram lá depositados mecanicamente, e só depois cimentados à superfície por uma cobertura estalagmítica; segundo, os fragmentos soltos de espeleotemas e clastos de rocha foram assim considerados como aqueles materiais recentemente desagregados e de menores dimensões. Como se verá mais adiante, a marcação desta forma junto ao local de interesse nº 9 poderá ser sujeito de outra interpretação. Terceiro, e talvez mais significativo, também encimado por um chão estalagmítico, que provavelmente poderá estar relacionado com um dos períodos frios do Quaternário, cuja marcação é relativamente especulativa, sendo apenas visível a parte frontal do afloramento.
- 5) Depósitos litoquímicos: os mais significantes dentro da gruta. Nesta secção inventariam-se cada uma das formas individualmente (embora que não todas nem com a precisão exata), demonstrando a sua dispersão por toda a cavidade. Optou-se por várias formas de representação, muito de acordo com Crispim (1985), a fim de proporcionar uma melhor leitura gráfica, quer pelo símbolo comum quer pelas circunferências. Os aglomerados ou famílias de estalactites, estalactites excêntricas, estalagmites e de estalagmites tombadas foram tidos em consideração como forma de exprimir a conjugação de vários destes depósitos num só local, sendo muito difícil e até infrutífero marcar os espeleotemas individualmente, uma vez que se conjugam comumente. As paredes (sub)verticais concrecionadas são aquelas em que a escorrência de água se faz por elas abaixo, havendo uma acreção e em que, por sua vez, se formarem verdadeiras cascatas estalagmíticas que têm continuidade no chão (estalagmítico). A existência de um manto calcítico tem especial ênfase no setor superior, na reentrância existente no seu extremo NE, em que uma fina película de calcite se depositou por escorrência sobre o chão estalagmítico mais antigo, depositando-se também no lago adjacente, onde se cria um rebordo semelhante ao de um *gour*. A cobertura por cristais de calcite, apenas existente no setor inferior, poderá constituir uma evidência de precipitação química de águas de circulação interna, porventura por influência do setor superior e dos materiais que arrastam, atribuindo uma cobertura espinhosa, quebradiça, e perigosa para qualquer deslize durante a atividade espeleológica. Os blocos e clastos envoltos por cobertura estalagmítica são o fruto da consolidação ou cimentação dos mesmos pela

acrecção de calcite, deixando de ser possível deslocá-los ou movê-los. Por fim, as couças ferruginosas, a discutir mais à frente, são presumíveis indícios de estagnação das águas durante as várias fases freáticas que a gruta atravessou em períodos passados.

- 6) Indícios antrópicos e pré-históricos: todas as evidências encontradas que não tiveram origem no processo espeleogenético, porventura à exceção dos colapsos, que foram considerados nesta secção por se terem constatado após a descoberta e exploração da gruta do Algar do Pena. Incluem-se aqui representações de fenómenos atribuídos à atividade humana tais como as estruturas de apoio aos visitantes (EAV) ou os blocos deslocados por meio da construção das mesmas.
- 7) Outra simbologia: trata-se da marcação de outros pontos de referência da cavidade, importantes por razões de enquadramento necessário para realização da análise setorial.

Para completar o esboço geomorfológico que consta em anexo II, foram construídos perfis em esboço (devidamente assinalados no anexo) em que se identificam as principais estruturas e formas descritas. Com este exercício pretende-se evidenciar algumas relações, quer entre fendas nas paredes e chãos estalagmíticos, quer pela disposição das várias formas ao longo de toda a extensão da gruta. Os esboços poderiam estar mais completos quanto a espeleotemas ao longo de cada perfil, não sendo no entanto estritamente necessário, pois considera-se como prioritária a necessidade de conhecimento da topografia e desenvolvimento (sempre especulativo) da gruta nas suas várias secções. Foi também marcada ~~uma~~ uma série de locais de interesse (Li) de elevado valor para descrição, que usaremos como guias para localização aquando da descrição de cada um dos setores.

#### 3.1.2.1. Setor inicial

É por este setor que se faz a entrada para o Algar do Pena. Nas várias visitas efetuadas, não foi possível a descida à cavidade pela entrada histórica, mas segundo relatos da equipa de espeleólogos do CISGAP, nela encontram-se vestígios de circulação freática que remontam à génese de todo o espaço subterrâneo e que não estão assinalados no esboço geomorfológico. Tratando-se de uma entrada abandonada encontra-se fechada com grades à superfície, como prevenção de quedas ao longo de mais de 35 metros; por sua vez, no *términus* desta entrada, logo após a entrada pela porta de acesso à cavidade, encontra-se uma grade de proteção como telhado na vertical do fim da entrada histórica, que caso caiam blocos ou pedras por ela, não

causem danos às visitas e equipas que entrem no Algar do Pena. E as pedras retidas na grade já são em número considerável...

Das instalações construídas contam-se, portanto, o edifício do CISGAP, por onde é feito o acesso ao subsolo (e por sua vez a este setor), através elevador ao longo de 35m e, no caso da falta deste, por escada em espiral. Deste modo atinge-se o setor inicial, assim denominado única e exclusivamente por corresponder ao setor de entrada na gruta, e onde as estruturas de apoio aos visitantes estão presentes. Estas estruturas ao início apresentam-se retilíneas até a uma escada em caracol que desce ao longo de cerca de 10 metros na vertical, e no seu fim, continua linearmente e em plano, com uma ligeira flexura, numa escadaria onde os visitantes poderão assistir às explicações dos espeleólogos, bem como apreciar a magnificência da cavidade. É neste local que termina a visita parcial à gruta, e onde se dá início à visita integral, através de material de segurança adequado à prática de espeleologia.

O setor inicial situa-se na região NW da gruta, correspondendo a uma forma perto da forma retangular, com o seu comprimento no sentido SW-NE. Fica compreendido entre as cotas de -35m e de -60m, na zona de entrada para a gruta e na zona de transição para o setor intermédio, respetivamente. É deste setor que se tem uma perspetiva geral da dimensão da gruta, ficando presentes à primeira vista as formas deste setor como do setor intermédio, ficando, no entanto, ocultadas as formas dos setores inferior e superior.

Logo no seu flanco setentrional, e após dada a entrada para o interior da gruta, encontra-se a entrada histórica, percorrida quando da descoberta do Algar do Pena. Esta entrada, que mantém marcas de circulação freática, está nos dias de hoje abandonada pela água, sendo responsável pela entrada dos principais materiais clásticos de toda a gruta. Na sua base, e a NW do Li1, encontra-se uma formação muito semelhante a uma escombreira de gravidade mas de reduzida dimensão e com ligeira heterometria dos calhaus desagregados. Não estando marcado na topografia da gruta, foi traçado um contorno aproximado, que tende a acompanhar o traçado de uma das cotas da entrada histórica; por outro lado, existe uma reentrância na parede por onde os materiais parecem perder-se, e que apresenta características muito lineares, isto é, paredes muito suaves, sem concrecionamento e com sinais de escoamento de água. Os materiais encontrados correspondem a pequenos calhaus angulosos e bastante heterométricos, misturados numa matriz terrosa incipiente a envolvê-los.

É-nos, também, possível de encontrar todo um conjunto de espeleotemas de variadas características, em particular de estalagmites e colunas fixas num chão estalagmítico livre de quaisquer clastos. Este chão encontra-se, também, completamente fraturado, o que dado o

declive do mesmo, está a exercer o seu peso sobre materiais argilosos e plásticos que se encontram por baixo, com a mesma tendência até ao limite basal deste setor. Este fenómeno está diretamente associado com o contínuo alargamento e aprofundamento da gruta, em que a força da gravidade e a contínua descompressão das paredes da cavidade surtem efeito.

O Li2 assinala o local onde a construção das estruturas de apoio aos visitantes incutiram marcas nos espeleotemas, obrigando ao corte de um grande alinhamento de estalagmites, de que sobra apenas uma grande estalagmite; estas obras deixaram influências no interior da gruta, tendo o material removido sido empurrado vertente abaixo, e que só encontrou repouso no setor intermédio, deixando marcas de quebra em estalagmites no setor intermédio e no chão estalagmítico ao longo da descida para aquele setor.

A NW daqui verifica-se um dos indícios de descompressão do calcário no interior da gruta, onde o destacamento de um bloco na parede e cornija dum teto saliente mostra um calcário nu, sem quaisquer concreções e, onde no chão, se verifica o acumular de fragmentos e clastos derivados desse colapso.

Neste setor encontra-se a estação climática que permite estar a par das características climáticas da gruta, e que permite o conhecimento dos valores quase constantes de temperatura e humidade ao longo do ano. É neste setor que se torna mais evidente a presença dum chão estalagmítico alisado, sem quaisquer clastos cimentados, que traduz o acumular de calcite associado a um escoamento maior de água ao longo do declive, o que é sinónimo precisamente deste chão estalagmítico liso, com aparência escorregadia.

A transição do setor inicial para o intermédio traduz-se por uma escarpa com mais de 5 metros de altura, correspondendo a um sucessão de cornijas estalagmíticas, que são mais salientes quanto mais na vertical se tenha em consideração, que tal como a tendência geral de toda a gruta, apresenta um ângulo agudo em relação ao plano; isto acontece em todas as paredes, não havendo um padrão de inclinação, tal como seria de pressupor perante o mergulho dos calcários, ou por questões tectónicas.

Toda a área deste setor, em particular no quadrante SE, apresenta-se com um chão estalagmítico bem construído e sem brechas demasiado visíveis; as brechas visíveis apresentam-se preenchidas e cimentadas, o que parece traduzir uma forte estabilidade do setor perante a tendência de colapsos por gravidade, ou a existência de materiais mais consistentes por baixo que não provocam qualquer deslizamento dos depósitos. Vigoram, também, grandes alinhamentos estalagmíticos em torno da orientação NW-SE, no entanto, é nestes grandes alinhamentos estalagmíticos (que preferimos começar a apelidar por famílias de estalagmites)

que se verifica uma superfície mais lisa, alternando entre áreas lisas e rugosas, provavelmente por alguma ação corrosiva da água do gotejo. Quanto a formas estalactíticas, é apenas na vertical destes grandes alinhamentos que se verificam estalactites de maiores dimensões, apresentando-se estreitas para o seu comprimento (ultrapassando com certeza mais de um metro de comprimento), e muito juntas, ao longo daquelas que são fraturas no teto por onde a água escoava com maior facilidade.

### 3.1.2.2. Setor intermédio

O setor intermédio é o setor que ocupa maiores dimensões no Algar do Pena. Tem no seu quadrante Oeste uma orientação W-E, seguido de uma mudança de orientação para o sentido SW-NE; é neste último que se vê mais deprimido, e dá passagem ao setor inferior. Tem ligação ao setor inicial pelo seu flanco setentrional, e com o setor superior pelo seu flanco oriental. É, tendencialmente, o setor menos declivoso, com uma zona de acumulação de um vigoroso chão estalagmítico antes de se dar a transição para o setor inferior, e onde se desenvolvem algumas das estalagmites estudadas.

Apresenta toda uma panóplia de depósitos de elevado valor para este estudo, de onde se recolheu uma amostra de estalagmites como exemplificadoras da dinâmica dos depósitos que lhes estão subjacentes; verifica-se, também, uma vigorosa escombreira de blocos, que domina em grande área do quadrante Oeste do setor. Surgem também marcas de escoamento em regime vadoso com couraças ferruginosas associadas, como se constatará mais em diante.

A presença de um chão estalagmítico de muito baixo declive sustenta as condições para a fixação de grandes alinhamentos de estalagmites. Nas imediações do Li4 tornam-se evidentes dois alinhamentos estalagmíticos, com correspondência no teto, nos respetivos alinhamentos estalactíticos. As estalactites que fornecem a matéria a estas famílias de estalagmites apresentam-se com grandes dimensões, compridas e esguias, o que é sinónimo de um fornecimento constante e abundante de água, que quando não se fixam na origem, aglomeram-se no destino; de facto, estas famílias de estalagmites apresentam-se de grandes dimensões, largas e com algum desenvolvimento vertical, ao longo do comprimento dos alinhamentos no teto. As estalagmites desta amostra correspondem ao mesmo alinhamento, e trata-se das estalagmites nºs 1 e 2. Ambas situadas numa zona de menor declive, fazem a transição para maiores declives antes da descida abrupta para o setor inferior, pelo que o seu desenvolvimento sobre o comprimento segue precisamente a tendência do declive ao longo do chão estalagmítico que as suporta (figura 29).

A estalagmite nº1, corresponde a um aglomerado com vários ápices que, no entanto, apresenta uma sucessão de *ripples* no seu entorno que demonstra o maior ou o menor *input* de água (e materiais), tanto por fatores sazonais, como climáticos de maior amplitude, este último evidenciado na espessura das camadas de crescimento, isto é, vão diminuindo da base para o topo, tanto em largura como em altura. Graças ao maior *input* de água, o seu ápice maior (e mais a WNW) apresenta-se tendencialmente achatado e a fixação de impurezas de argila é menor, tanto por influência da origem como pelo efeito de *splash* que espalha o gotejo e as impurezas nele contidas. A estalagmite nº2 segue a mesma tendência, correspondendo à passagem dum *input* mais importante que se vê interrompido a meio (por ausência igualmente de estalactites no teto) para um novo desenvolvimento de duas vigorosas estalactites a ESE, onde se enquadra esta estalagmite. Este intervalo de estalactites no alinhamento é indício de condicionantes estruturais na rocha do teto, como seja por ausência de diaclasamento ou de porosidade local.

Na base deste alinhamento estalagmítico, é possível ainda verificar a quebra do chão estalagmítico paralelamente ao alinhamento. Esta evidência é constatável na face SSW, onde uma extensa diáclase percorre a sua base, agora cimentada, sendo indício do destacamento de parte do chão estalagmítico para o setor inferior, eventualmente facilitada pela presença de materiais argilosos plásticos e com desarranjo interno dos mesmos.

É a Este destes alinhamentos estalagmíticos que se encontram os pedaços do alinhamento estalagmítico que foram cortados para a passagem das estruturas de apoio aos visitantes, conjuntamente com toda uma série de clastos resultado da quebra da estalagmite proveniente do setor inicial, e clastos de estalactites provenientes do setor inicial.



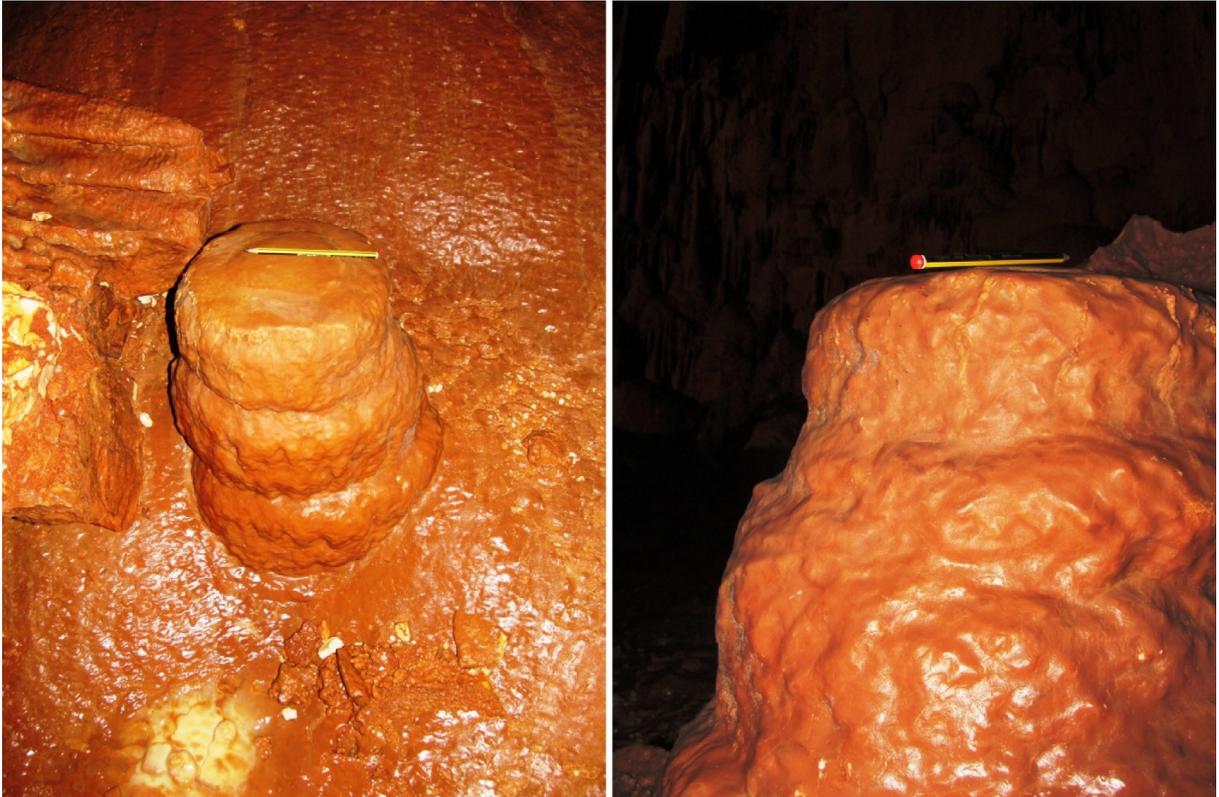
**Figura 29** – Vista a partir do Li4 para Este, enquadrando as estalagmites amostradas n<sup>os</sup> 1 e 2, e assinalado a vermelho os blocos deslocados do setor inicial (esquerda); vista das imediações do Li4 para a zona inicial do setor inferior (direita).

A continuidade dum chão estalagmítico de baixo declive leva-nos a verificar e a quantificar outras estalagmites com características tão diferentes das anteriores. Surge, no entanto, a escombreira de blocos verificada no quadrante Oeste deste setor, a que se associam duas possíveis origens: a primeira, a perda de suporte pela base (como é tendência geral em todas as paredes da gruta) e que levou ao colapso de parte da parede até que encontrasse uma estabilidade; e a segunda, diretamente relacionada com a primeira, pelo destacamento de blocos do teto, com relação direta ou indireta à presença de uma chaminé a NW da mesma. Esta escombreira de blocos encontrou a sua estabilidade e de momento encontra-se completamente concrecionada, à exceção de alguns blocos na sua base e na parte central, e de alguns pequenos clastos, que são notoriamente mais recentes. Apresenta-se como uma forma estável, sem fendas na sua cobertura estalagmítica ou indícios de movimentos de blocos por força da gravidade. No entanto, na sua base o chão estalagmítico que se estende para o setor inferior já apresenta alguns desses indícios, verificáveis nas estalagmites.



**Figura 30** - Duas vistas distintas da escombreira de blocos Oeste do setor intermédio. À esquerda, visão NE-SW a partir do setor inicial; à direita, visão ENE-WSW a partir do setor superior.

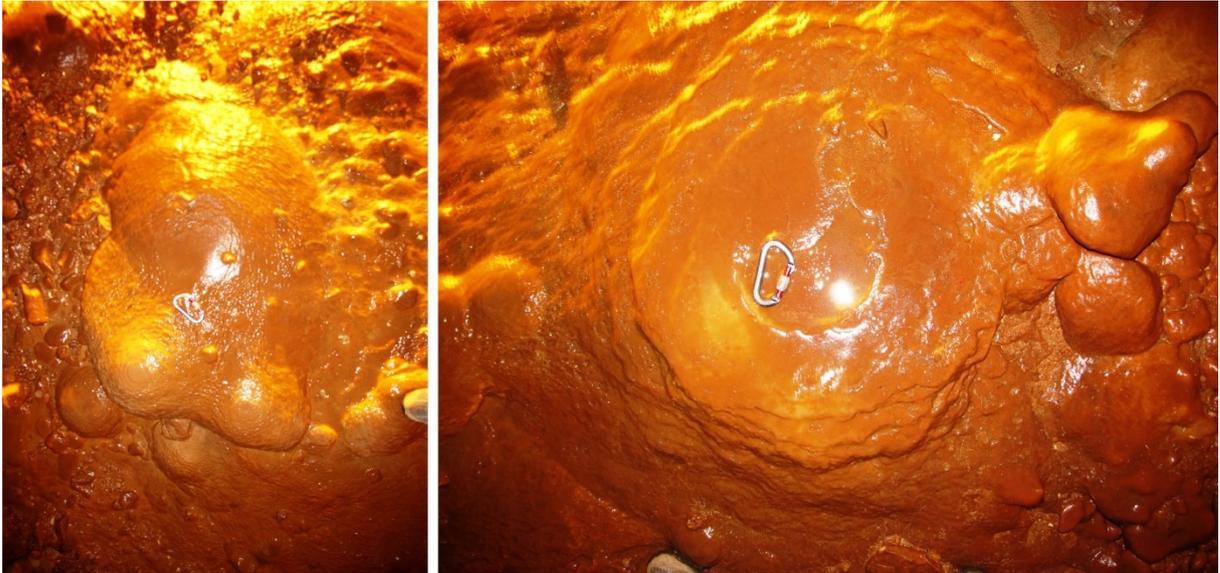
Imediatamente na base desta escombreira se encontram algumas estalagmites importantes para a amostra. A estalagmite que mais contrasta com todas as outras é a n<sup>o</sup>3, apresentando um desenvolvimento na vertical distinguível em três camadas, tendo maior espessura da base para o topo (figura 31); esta diferenciação poderá estar associada a diferentes períodos climáticos, que influenciaram diretamente a vegetação, traduzível num maior ou menor poder solvente das águas, influenciando a disponibilidade de carbonato de cálcio dissolvido. Outra particularidade desta estalagmite, comum a todas as estalagmites do setor intermédio, é o seu desenvolvimento para o quadrante Oeste nas suas fases mais recentes, com tendência a contrariar a deslocação do chão estalagmítico, uma vez que a origem do gotejo se mantém fixa. Isto pode ser sinónimo de que o chão estalagmítico está assente sobre materiais plásticos, escorregando ligeiramente para Este enquanto a estalagmite se desenvolve para Oeste. Não deixa, no entanto, de ficar em hipótese alguns pequenos movimentos tectónicos ou sísmicos que mudem a posição do gotejo, sendo que a anterior é passível de ser a mais ajustável ao caso.



**Figura 31** - Pormenores da estalagmite n°3, vista por cima e em perfil.

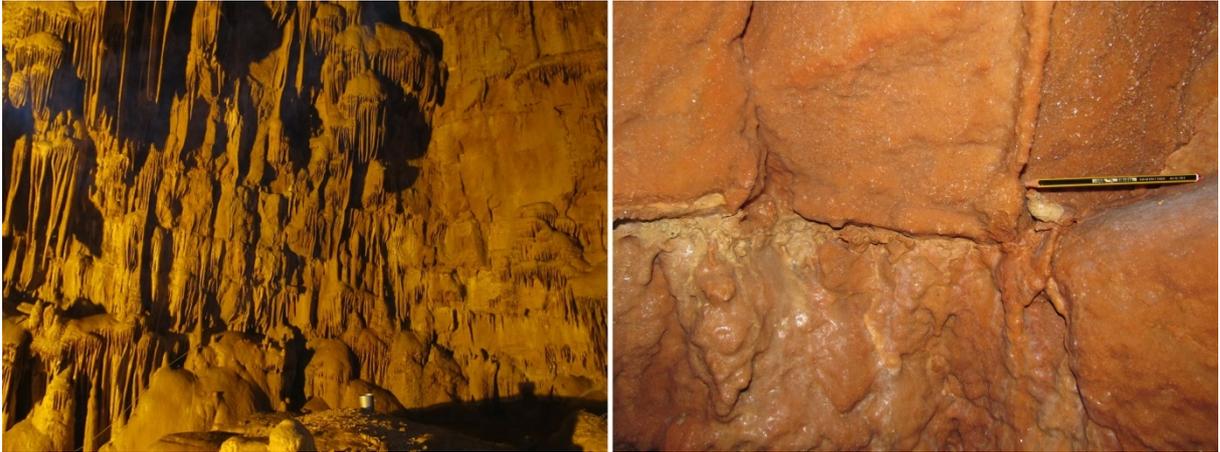
A Este da estalagmite n°3, encontram-se as estalagmites n°4 e n°5 (figura 32). A estalagmite n° 4 parece corresponder um aglomerado de três estalagmites, apresentando dois ápices de maior dimensão vertical seguidos de um ápice com menor dimensão, o que pela forma que apresenta, comprova mais uma vez a deslocação do chão estalagmítico para Este. Por outro lado, a altura de gotejo é das maiores de toda a cavidade (à exceção da fase inicial do setor inferior), pelo que o efeito de resistência do ar será o principal responsável por desagregar as gotas de água e por criar estalagmites tendencialmente largas ao invés de um desenvolvimento em altura.

A estalagmite n°5 apresenta um processo de construção ligeiramente diferente da n° 4, pelo que se define numa zona de declive mais acentuado, e a sua forma estará porventura condicionada pelo fornecimento de água pelo teto, em que escoamento é feito por alguma pequena conduta subvertical, permitindo a queda de gotas de maiores dimensões; isto reflete-se no *splash*, pois leva a uma desconstrução no local de impacto, achatando-o, e por sua vez, espalhando a água por uma área maior, dando-lhe uma forma depressiva, ou seja, enquanto no seu ápice se desconstrói, no seu torno tende a construir, não lhe atribuindo um grande desenvolvimento vertical.



**Figura 32** - Estalagmites n° 4 e 5, respetivamente.

Ainda neste setor, a SW do Li6 é possível encontrar uma ossada animal, pertencente muito possivelmente a um cervo. É visível, também, a Sul deste local, toda uma parede concrecionada, que corresponde de igual modo a uma escarpa e a uma cascata estalagmítica, assinalando-se duas particularidades: a primeira, a presença do mesmo declive de 6° e mergulho para SE, tal como à superfície; a segunda, associada ao comum de todas as escarpas da gruta, a tendência a formar um ângulo agudo com o plano horizontal, em que mesmo com a inclinação dos estratos para SE, a descompressão e a ampla sala permite o escorregamento dos mesmos para o espaço vazio favorecida pela presença de um composto plástico ao longo das juntas de estratificação, que nada mais será do que argilas e todo o produto de dissolução do calcário. Assim, aquela parede que supostamente deveria ter uma inclinação condicente com o mergulho das camadas, tende a apresentar um declive contrário a essa tendência, pelo que os estratos da base se encontram mais recolhidos que os do topo, e posteriormente complementados pela cascata estalactítica e pelas inúmeras estalactites em cortina que nela se desenvolvem (figura 33).



**Figura 33** - Morfologia da parede concrecionada/cascata estalagmítica (esquerda) e pormenor do pequeno escorregamento ao longo dum dos planos de estratificação (direita).

A respeito desta conjugação de fatores, é possível observar na cascata estalactítica, mesmo à distância, os planos de estratificação, evidenciando-se nalguns dos seus elementos o escorregamento das camadas, pelo que se constata interrupções de crescimento, quebras e cimentações, o que comprova que quando estas formas se desenvolveram, a parede estaria já a movimentar-se, atribuindo tanto à parede como aos espeleotemas uma forma em escadaria inversa.

A Sul deste local de interesse encontra-se um dos lagos internos do Algar do Pena, verificando-se que o regime (variável consoante as estações do ano, como foi verificado pelas várias visitas realizadas à gruta) influencia a deposição de materiais no seu leito. Não chegando a ter condições para criar rebordos de calcite como acontece nos *gours*, no seu leito podem encontrar-se alguns clastos de rocha, envoltos numa matriz de argila e calcite<sup>18</sup>. Este lago corresponde ao recetáculo de toda a água de gotejo nesta zona do setor intermédio, pois toda a zona até agora já mencionada neste setor conflui para aquele local, apresentando-se como uma depressão. A hipótese que estará por trás desta topografia poderá ser um acontecimento semelhante aos deslizamentos rotacionais.

---

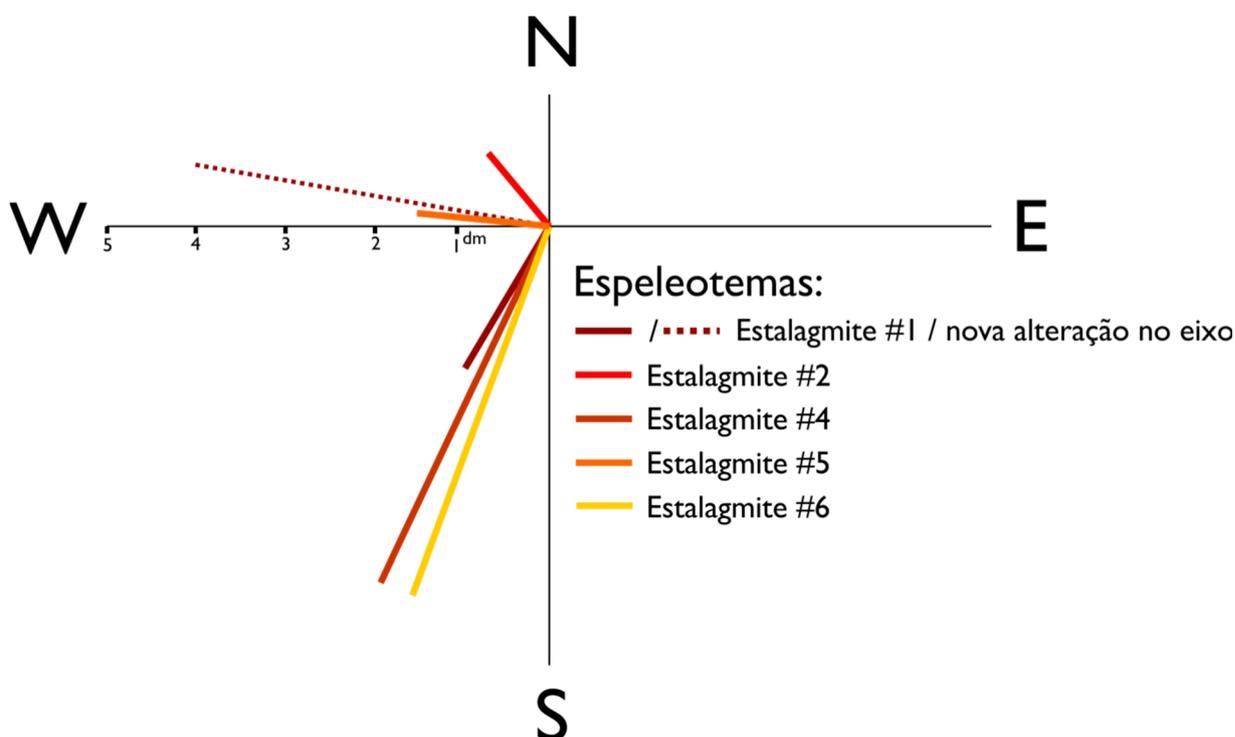
<sup>18</sup> Este facto constatou-se numa das últimas visitas efetuadas, em que observando este lago, encontrava-se uma pilha AA a poluí-lo, deixada lá por acidente (ou vandalismo) por algum visitante, começando a deixar um rasto de ferrugem na superfície desta “lama”, tendo-se removido de imediato a mesma, já bastante enterrada. Aqui apercebemo-nos do que constitui o seu leito, o que por força da necessidade acabámos por destabilizar a deposição dos materiais, pois logo de seguida a água enturveceu, cheia de materiais em suspensão.

Por sua vez, a NW deste local de interesse temos a estalagmite nº6, que é dos melhores exemplos (a par com a estalagmite nº3) do deslizamento contínuo do chão estalagmítico sobre um depósito de materiais plásticos e mal consolidados. Esta estalagmite situa-se no rebordo final do setor, antes do declive acentuar e terminar na queda brusca que dá para o setor inferior (figura 34); é também neste local que estaremos em posição de confirmar que por baixo, a presença dum depósito de crioclastos é indício de instabilidade do manto sobrejacente, porque há indícios de dispersão de crioclastos um pouco por todo o setor inferior. Não se tratando de uma estalagmite única, corresponde a um aglomerado de pelo menos 4 ápices correspondentes a um alinhamento de estalactites, que mesmo assim se veem influenciadas pelo deslize do chão estalagmítico onde se inserem.



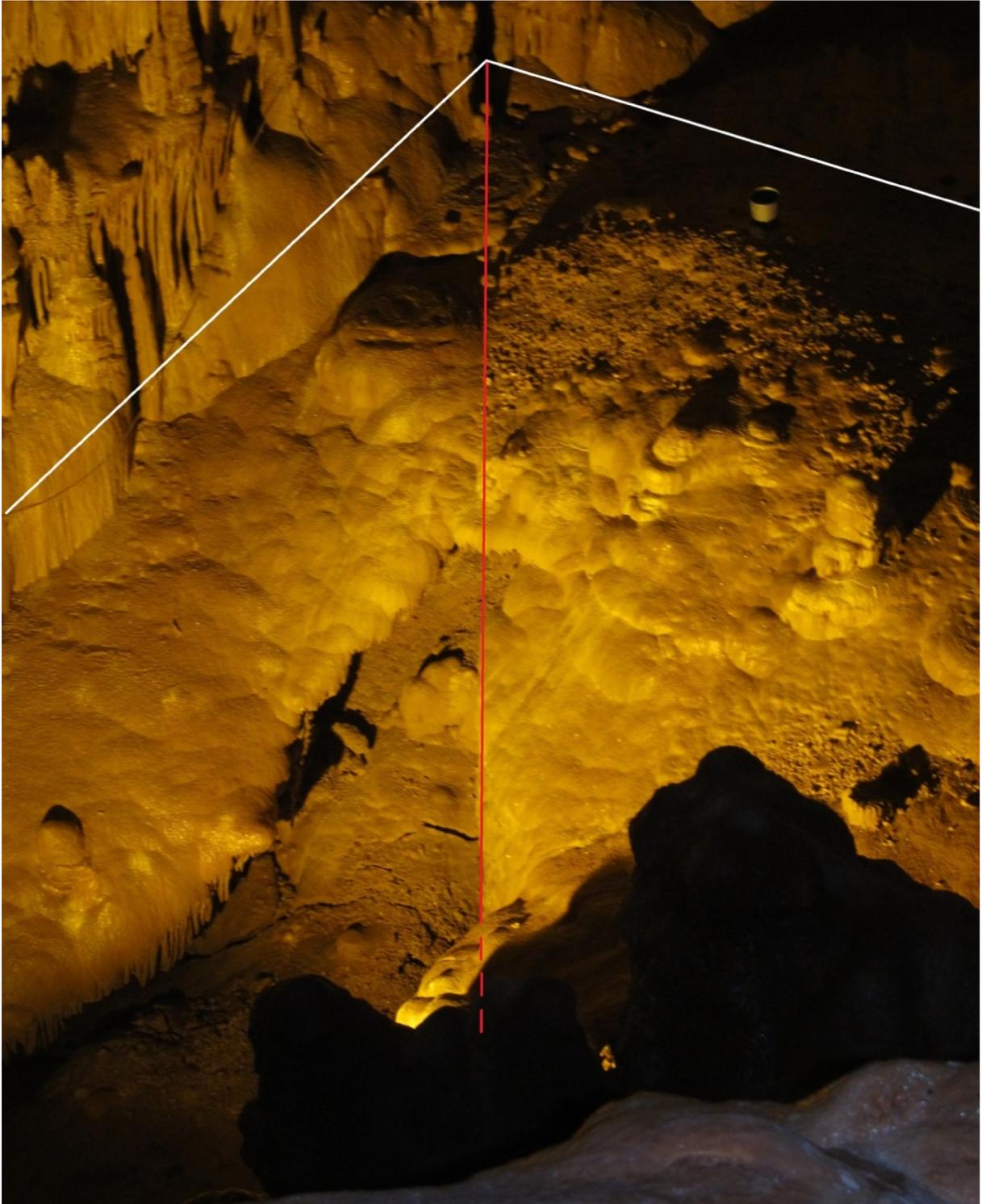
**Figura 34** – Vista para ENE a partir da estalagmite nº6 (esquerda); pormenor da estalagmite nº6 (direita), no rebordo final antes do acentuado declive com destino ao setor inferior.

Nesta fase da análise setorial já nos encontramos em posição de começar a tirar algumas conclusões quanto à evolução espeleogenética das estalagmites quantificadas e dos seus alinhamentos. É de verificar que não há um padrão generalizado de azimutes das estalagmites, mas que apenas perduram as orientações NNE e ESSE, indo ao encontro ao padrão de diaclamento de superfície, segundo Carvalho (2013).



**Figura 35** - Representação gráfica dos azimutes de desenvolvimento das estalagmites quantificadas no setor intermédio.

É de particular interesse a transição para o setor inferior, que se faz sentir ao longo de uma brusca quebra de declive que oculta todo um grande depósito de crioclastos. Assim, por análise no local, ou mesmo pela fotografia 10, tirada duma vista privilegiada no setor inicial, notam-se vários alinhamentos que podem estar por trás da génese da gruta. Por um lado, os alinhamentos sublinhados a branco, apresentam-se nos sentidos SW-NE e NW-SE, tal como é tendência geral no resto da cavidade, e como é demonstrado à superfície por Carvalho (2013) nos seus levantamentos de campo (figura 23) para o setor dos Calcários Micríticos de Serra de Aire ( $J^2_{SA}$ ), onde o Algar do Pena se insere. Por outro lado, a linha vermelha que marca um alinhamento em causa revela a sua imponência por se apresentar com uma evidência demasiado bem observável. A primeira impressão que causa é que foi obra humana; por sua vez, o alinhamento causado, tem continuidade para Sul, até ao canto da parede onde se faz a inflexão (encontro das 3 linhas marcadas), inflexão esta que tem continuidade na vertical. Quanto aos depósitos, pressupondo que ninguém andou a mover os clastos que se acumulam junto ao lago e oriundos da chaminé acima, verifica-se igualmente um término brusco da sua localização conforme indica a linha vermelha, como se tivesse sido imposto um limite rígido e fixo.



**Fotografia 10** - Interpretação do alinhamento separador (vista N-S) do setor intermédio para o inferior (a vermelho), destacando-se uma certa linearidade deste com a base das paredes da gruta (a branco). Balde de recolha de água n° 1 na zona superior direita para escala.

De importante valor para a reconstituição morfogenética do Algar do Pena, surge o que é verificável junto do Li7, na zona inferior à escarpa que limita meridionalmente o setor inicial. A importância deste local prende-se com o tipo de depósitos e formas lá encontrados, que se verificam em pelo menos mais dois locais da gruta. Os depósitos encontrados tratam-

se de couraças ferruginosas, e andam acompanhadas de marcas de erosão mecânica nas paredes, características de cavidades em fase vadosa, a cotas ligeiramente mais elevadas (até c. 2m).

De acordo com o trabalho de Gourdon-Platel & Dubreuilh (1992), trata-se depósitos ferralíticos, nodulosos, bastante ricos em ferro, e que foram construídos durante climas tropicais húmidos que, para aquela investigação, se datam a partir do Paleocénico. A presença destes depósitos sugere que onde se encontram estas couraças se verificou uma fase de decantação dentro da gruta, isto é, à cota das couraças houve deposição de argilas e dos materiais mais pesados dissolvidos na água, formando-as nas reentrâncias ou irregularidades da rocha; atendendo que o nível de base das águas se encontraria mais elevado, estão encontrados os condicionantes para uma deposição contínua e um cada vez maior fornecimento de materiais acidificados para a dissolução da rocha.

Estas couraças apresentam-se como um dos importantes indicadores possíveis para realizar uma reconstrução paleoambiental da gruta, como será feito no tema 3.3..

À exceção das couraças e marcas freáticas encontradas no setor inferior, as do setor intermédio situam-se em paredes sapadas, isto é, com um desenvolvimento reentrante a cotas mais baixas, pelo que no seu topo tende a se formar uma cascata estalagmítica. É também possível verificar que estas paredes se encontram envoltas numa matriz argilosa consolidada, sem importante fixação de mantos calcíticos ou associado a formas espeleogenéticas, e por estas particularidades, aparentam ter correspondência com algum tipo de depósitos detríticos que ali se fixou. Neste local de interesse, as couraças apresentam-se de cor negra (figura 36), e de acordo com o trabalho de Gourdon-Platel & Dubreuilh (1992, p. 458) na sua área de estudo, tratara-se de um depósito de argilas negras associadas à degradação de matéria orgânica e ricas em detritos lignitosos. No contexto da morfologia da parede, encontram-se na zona mais reentrante, o que sugere que durante os processos mecânico e químico da água, a cobertura de materiais que lhes antecedeu foi removida paulatinamente.



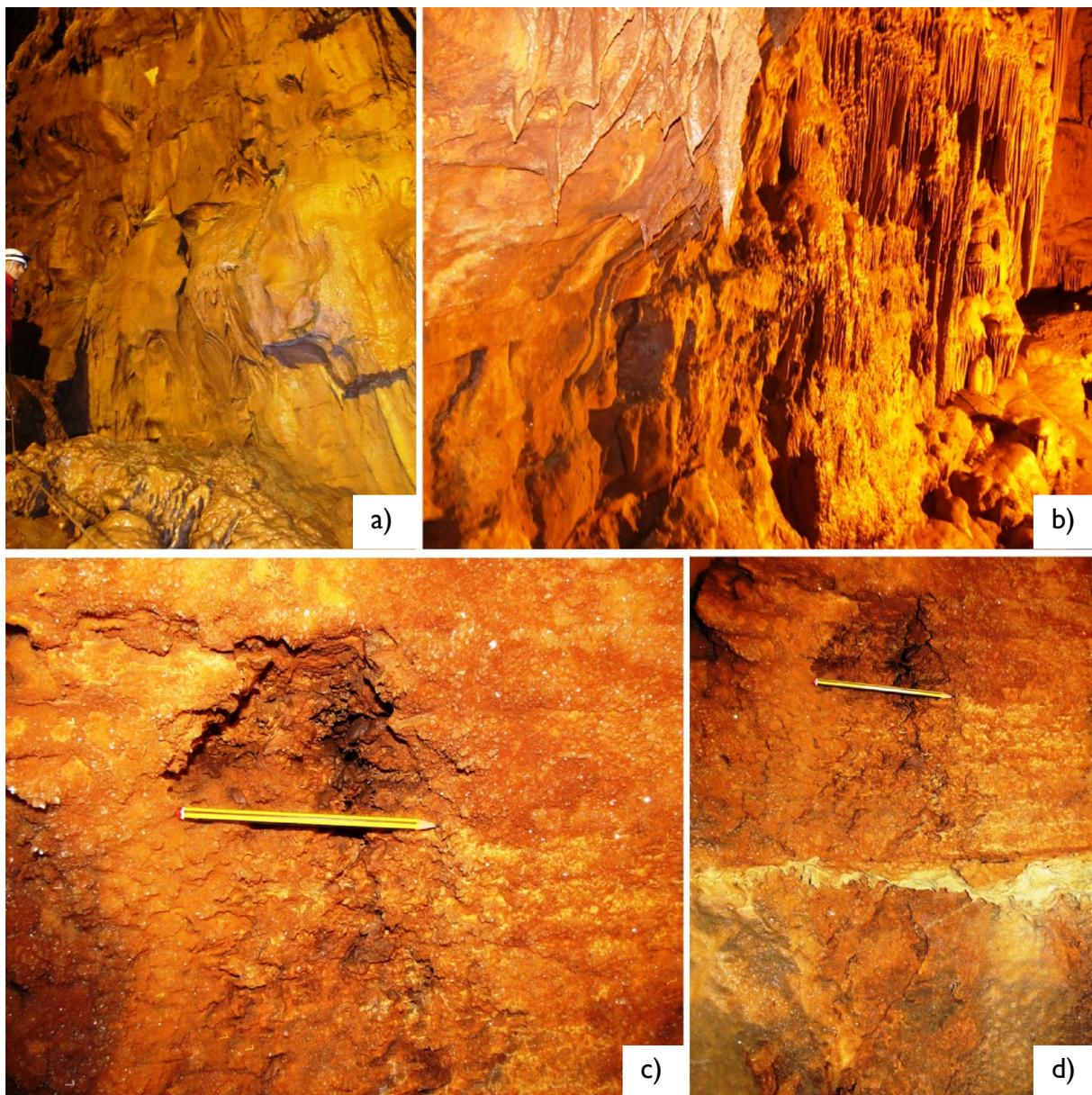
**Figura 36** - Couraças ferruginosas encontradas no setor intermédio, no Li14, por baixo da escarpa terminal do setor inicial (e de um maciço alinhamento estalagmítico), apresentando-se de cor negra e parcialmente envoltos por uma cobertura calcítica. Quando a nu, o material que as rodeia é facilmente desagregável.

No Li8 voltam a surgir as marcas de escoamento freático acompanhadas de couraças ferruginosas; é aqui também que os vestígios de escoamento freático têm maior dimensão numa parede em toda a gruta. No meio da constituição argilo-arenosa da parede surgem as couraças ferruginosas. Estas apresentam-se diferentes de todas as outras encontradas no resto da gruta, confundindo-se facilmente com as argilas agarradas à parede. Têm uma cor castanha ligeiramente mais escura que as argilas. Por trás desta cor e textura lamacenta (quando tocadas) poderá estar uma menor abundância em matéria orgânica, complementada por uma maior abundância de constituintes minerais resultado da lixiviação dos paleossolos. Por outro lado, encontram-se mascaradas na parede, isto é, nesta zona inferior da parede<sup>19</sup> formou-se uma crosta calcítica rugosa, onde se veem cristais irregulares, quadrangulares e rombos, que sugerem uma fase inicial de concreção. De facto, a sua concreção é ainda tão fraca que facilmente conseguimos ver as juntas de estratificação a libertar uma pasta esbranquiçada, resultado da dissolução do calcário, e que é o principal lubrificante no processo de deslizamento dos estratos uns sobre os outros. Por baixo desta cobertura calcítica ou onde ela é mais fina, podem observar-se as couraças ferruginosas, que aparentam querer furar por entre a cobertura, apresentando a sua cor acastanhada nos pequeníssimos sulcos ou onde a calcite não teve hipótese de fixar vigorosamente (figura 37).

Na base desta parede, onde um aparente trabalho de sapa, provavelmente em regime vadoso, teve ação, vê-se uma forte acumulação de argilas e sedimentos desprendidos da pa-

<sup>19</sup> Define-se aqui como a altura máxima atingida pelo tamanho de uma pessoa.

rede, onde a concreção não teve efeito. Estes materiais sim estão completamente concrecionados, escavados no seu flanco por variadas caneluras devido à escorrência da água de gotejo para o setor inferior.



**Figura 37** - Vestígios de escoamento freático e couraças ferruginosas no Li8: a) Vestígios freáticos, vista W-E; b) Alteração da morfologia da parede, visão NNE-SSW; c) Couraça ferruginosa ao pormenor; d) Couraça ferruginosa sem pormenor, entalhada na rocha e acima duma junta de estratificação.

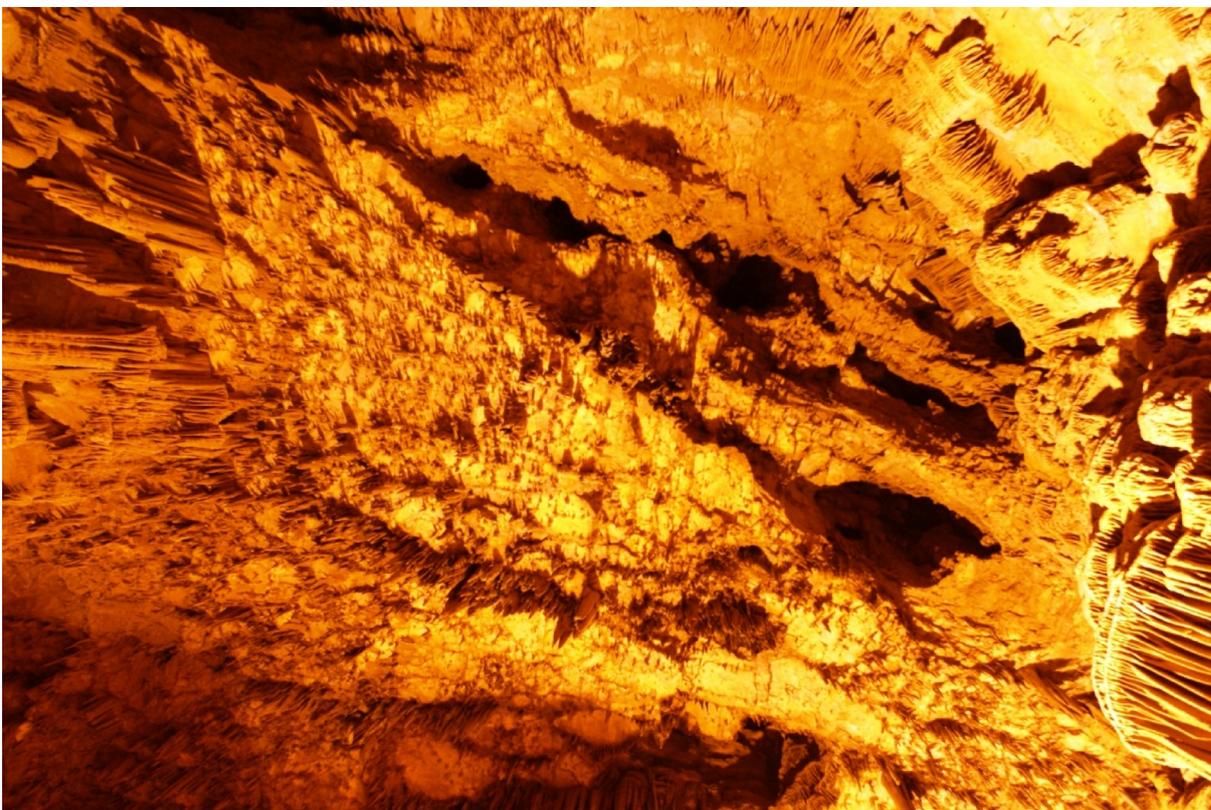
### 3.1.2.3. Setor inferior

O setor inferior corresponde às cotas mais baixas do Algar do Pena. Subdivide-se na fase inicial e na final, sendo que esta última se encontra oculta sob o setor superior. Ronda a cota dos -70m e aponta-se o seu nível mais baixo, e por conseguinte, de toda a gruta, por voltas dos -85m; é toda uma estrutura de sentido SW-NE, com inflexão na sua parte final para

um sentido SSE-NNW. Para melhor compreensão dos aspetos a ser tratados de seguida recomenda-se a apreciação do pormenor exclusivo ao setor inferior, constante no cartograma do Anexo II.

Na fase inicial do setor inferior o que se verifica é o início duma bacia de receção de materiais, onde o caos de clastos e de fragmentos de espeleotemas são ordem comum. No entanto é perceptível que este caos domina sobre um chão estalagmítico consolidado, mas como se verá mais à frente, não está tão firme como à primeira vista aparenta. É neste local que se encontram as maiores diferenças altimétricas de toda a gruta, onde a distância entre o *input* (no teto) e o *output* (no chão) são maiores, isto é, onde a água de gotejo percorre maior distância vertical (c. 45m). É em torno deste local que também se verificam as mais vigorosas chaminés da gruta, prováveis responsáveis pelo escavamento deste setor e seu consequente entulhamento.

É perceptível um conjunto de alinhamentos que correspondem às chaminés e vigorosos alinhamentos estalactíticos, que definem vigorosas reentrâncias e saliências no teto, respetivamente (fotografia II). Por sua vez, aos alinhamentos estalactíticos correspondem alinhamentos estalagmíticos de grandes dimensões.



**Fotografia II** - Panorama do teto da gruta, fotografado a cerca de 2 metros a Oeste da estalagmite nº6. Topo da foto correspondente a SW e base correspondente a NE. Fotografia cedida por Olímpio Martins.

Nas imediações do Li9 reconhece-se uma perda (sumidouro) sem limites conhecidos, que devido à desorganização dos blocos e materiais depositados, sugere um amplo espaço oculto por baixo de toda esta parte do setor inferior.

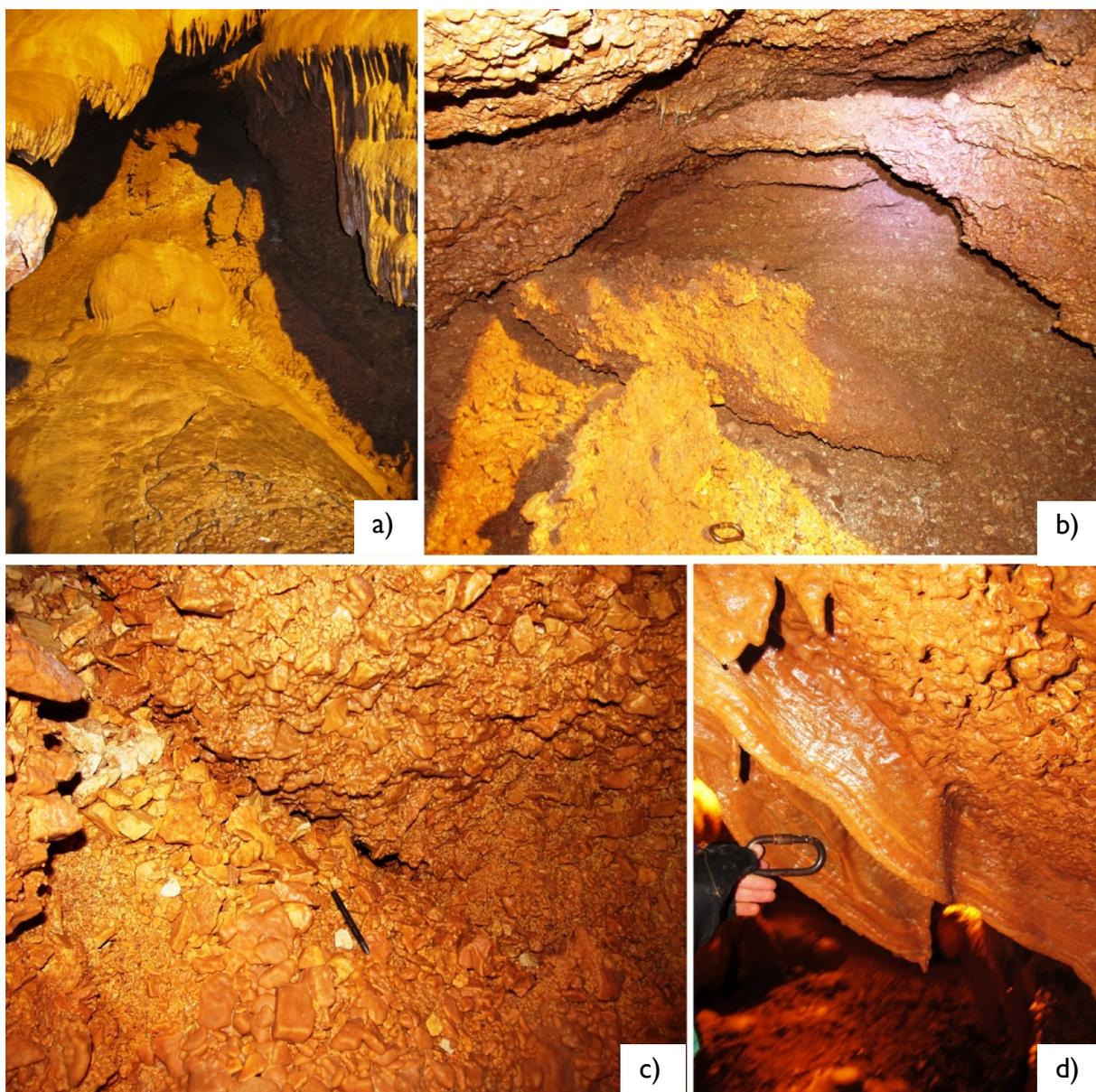
A Sul do Li9 verifica-se um depósito de crioclastos. Este depósito é mais um dos importantes indicadores paleoambientais encontrados dentro do Algar do Pena, parecendo ser o resultado de um dos períodos frios quaternários, que através dos mais variados processos crioclásticos, levou ao destacamento de pequenos fragmentos da rocha-mãe, e pelos mais diversos fenómenos motrizes e forças de atratividade, os sitiou naquele local. Constatando a sua localização e encaixando com a especulação relativa à disposição dos materiais que lhe estão subadjacentes, será de prever que tenham sido formados à superfície, sucessivamente arrastados e ali depositados, antes de algum grande colapso ou evento sísmico originário da continuidade do setor inferior para a sua fase final.

Este depósito de crioclastos apresenta-se como relativamente heterométrico, com clastos angulosos e achatados, verificando-se alternâncias entre leitos de materiais grosseiros e outros mais finos (em regra também mais arredondados), apresentando dimensões em torno de 10x6x3cm e 3x2x1.5cm, respetivamente, e numa abundante matriz, argilosa e desagregada; com um pendor máximo de 30° e seguindo a orientação NNE, coincide com a tendência do chão estalagmítico e das estalagmites no setor intermédio, que tendem orientar-se para um local central neste setor. E por força da gravidade, os calhaus de maior dimensão e consequente maior massa, posicionam-se no sentido do declive, tal como sucede em qualquer escombreira: materiais maiores na zona basal e menores na somital.

A ter em consideração que este depósito não se cinge única e exclusivamente àquele local, pois noutros sítios deste setor é possível encontrar partes dele, e embora não cartografados, prevê-se que maior parte, ou pelo menos a parte inicial deste setor esteja parcialmente assente sobre um depósito deste tipo; este depósito de crioclastos aparece-nos a nu pois encontra-se oculto sobre um denso chão estalagmítico proveniente do setor intermédio, e em parte cimentado pela percolação de água ao longo das suas faces. Na zona basal é onde é mais facilmente desagregável, ponderando-se que a sua forma seja devida a um trabalho de sapa que o vai reentrando para montante, não por ação da água, mas sim porque a desagregação e falta de concrecionamento levam a um destacamento contínuo dos seus materiais, encontrados a jusante deste. Terão sido estas ações que lhe definiram a forma e por onde a cascata estalagmítica se definiu (figura 38, a), já que a jusante seria de esperar a presença de

materiais crioclásticos, mas encontramos-los em menor quantidade, pois já terão sido absorvidos pelo chão estalagmítico que se desenvolveu, voltando novamente a ser visíveis no Li12.

Como forma de constatar a percolação de água ao longo das suas faces somitais, é possível encontrar duas pequenas estalactites paralelas em bandeira (figura 38, d), que mostram como é possível haver construção de espeleotemas mesmo quando abrigados duma entrada direta de água, que dada a sua pequena dimensão, são também indício da sua jovialidade em relação ao resto dos outros espeleotemas, não tendo mais de dez centímetros de comprimento.



**Figura 38** - Depósito de crioclastos no setor inferior: a) vista nas proximidades do Li9 (vista NNE-SSW); b) aproximação da face interna SW, com destaque para a presença de crioclastos de menores dimensões; c) pormenor da face interna oriental, sob a estalactite em cortina (cf. Anexo II), com destaque para os clastos de maiores dimensões e bastante heterogêneos; d) estalactite em cortina na face interna oriental, junto da desembocadura do depósito.

Na zona NE da fase inicial do setor inferior verifica-se a presença de um cone de clastos concrecionado de grandes dimensões (fotografia 12), que deve a sua existência muito especialmente à enorme chaminé que se lhe sobrepõe no teto. Esta forma caracteriza-se por uma acumulação contínua de materiais soltos provenientes do teto e dos outros setores<sup>20</sup>, que por força de algum colapso ou fenómeno tectónico se perderam ou deslocaram em seu redor anteriormente ao concrecionamento, sofrendo posteriormente de cimentação.



**Fotografia 12** - Principais formas encontradas no Li18: cone de dejeção concrecionado, estalagmite de pequena dimensão, bloco quebrado e cascatas estalactíticas.

No topo deste cone encontra-se uma estalagmite, que poderá ser um indício único da capacidade de formar estalagmites em grandes alturas de gotejo, pelo que poderá encontrar-se no limiar máximo; esta altura de queda perfaz cerca de 40m de distância entre o rebordo exterior da chaminé acima, e o seu ápice. Poderá ser um indício de que ao longo desses 40

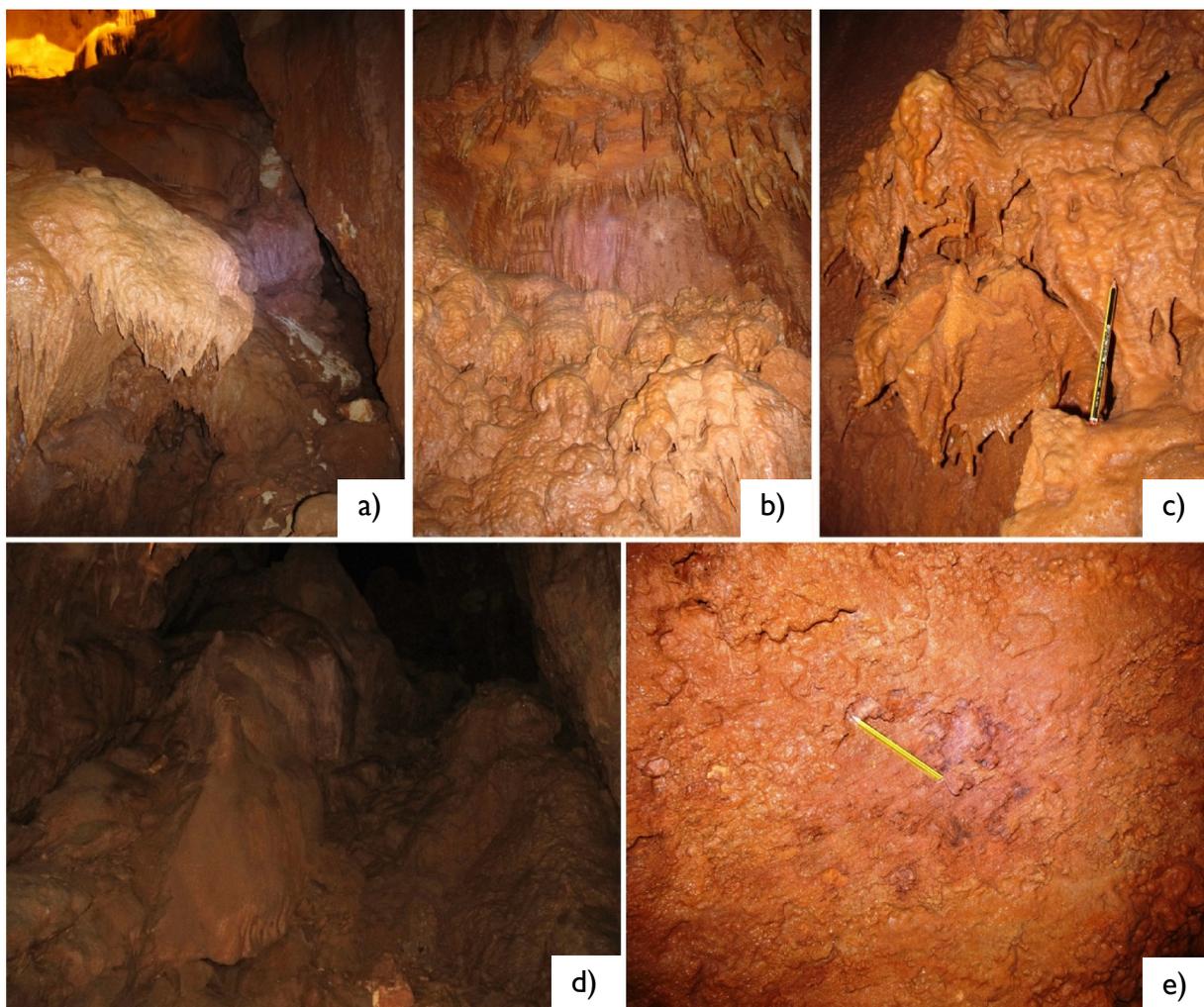
---

<sup>20</sup> Lança-se a hipótese de que esta zona do setor inferior tenha sido um reduto estável de materiais, e talvez antes de se abrir a passagem para a parte final do setor inferior, a deposição dos materiais bastante desagregados tenha sido alterada, tendo sobrado parte deles que atualmente corresponde a este cone. Antes de uma cimentação pelas suas faces, pressupõe-se que o colapso correspondente à abertura para a fase final tenha criado as condições para a definição da topografia deste cone de clastos, soltando-se os mais instáveis pelas suas orlas, e sobrando parte deles que acabaram sobrepostos por outros, seguidos de sucessivas cimentações.

metros de queda livre, o gotejo atinge a velocidade terminal e se desagrega, mas por sinal, por se encontrar no limiar da desagregação, consegue acrecionar, mesmo que com muitas dificuldades. Todo o gotejo que ultrapasse esse limiar, desagrega as gotas, e em pouco contribui para a construção de espeleotemas, fazendo-se mais lentamente; mesmo assim, caso o gotejo atinja o seu destino final intacto, a velocidade e o efeito de *splash* são tão intensos que mais facilmente desempenham processos destrutivos do que construtivos. Não se trata, portanto, duma estalagmite essencialmente calcítica, mas essencialmente dum aprisionar de materiais detríticos na calcite. Um grande bloco é também encontrado, o que não torna possível precisar a sua origem, sendo hipóteses o teto, o setor superior ou o inicial.

É neste local que a verticalidade e a imponência das paredes é mais notória em toda a gruta, o que pode significar o resultado de um grande colapso para cotas muito mais baixas, depois colmatado por um novo e abundante fornecimento de materiais ao longo dos tempos. Este colapso parece associado a profundas fraturas marcadas no chão estalagmítico, nos flancos desta fase do setor, e muito mais marcadas na fase final.

No início da parte final do setor inferior (com começo a partir da pequena escarpa ou degrau que ladeia o cone de clastos) verifica-se uma alternância em toda a morfologia deste setor. Essas evidências são verificáveis junto do Li11, onde se verifica a presença de grandes quantidades de a abundância de lamas e argilas concrecionadas (figura 39). Pressupondo uma fase vadosa, encontra-se uma parede reentrante que viu a queda de materiais pela sua base, sofrendo de escorrência proveniente do setor inicial, aliada à abundância de argilas. O resultado é uma cascata estalagmítica de pequena dimensão, que comprova uma fase de deposição dos materiais argilosos, posteriormente concrecionados, e por onde a ação mecânica da água teve oportunidade de escavar caneluras antes e durante a concreção. Aliado à teoria de uma fase de contenção de materiais argilosos antes do colapso que define entrada para a fase final, encontram-se couraças ferruginosas, que estão diretamente associadas a uma zona de águas estagnadas, em que a paleomorfologia deste local indicia um novo andar inferior de deposição de materiais oriundos tanto da superfície como dos outros setores. As couraças que de antes se encontrariam a nu, foram cobertas por um manto argiloso, posteriormente concrecionado (Figura 39, e).



**Figura 39** - Principais características encontradas no Li11: a) transição de escarpa ou degrau da fase inicial para a final do setor inferior; b) reentrância na parede e seus espeleotemas; c) pormenor à cascata estalagmítica; d) base do cone de clastos devidamente concrecionado; e) couraça ferruginosa mascarada em cobertura de calcite e argila.

Sob o depósito é possível encontrar uma reentrância onde que os crioclastos voltam a estar visíveis. Desta vez, não só crioclastos, mas um depósito de blocos, clastos e argilas, devendo-se este espaço vazio à presença de duas fraturas. As duas fraturas existentes são próximas, mas distintas: uma acima, será porventura resultado da decompressão por meio da inferior, esta por sua vez correspondente àquela que ladeia todo o setor, paralela a outra fratura do lado oposto. No entanto, a fenda marginal neste local encontra-se em grande parte entulhada por materiais soltos, sendo a sua presença denotada pela quebra de declive no chão estalagmítico.

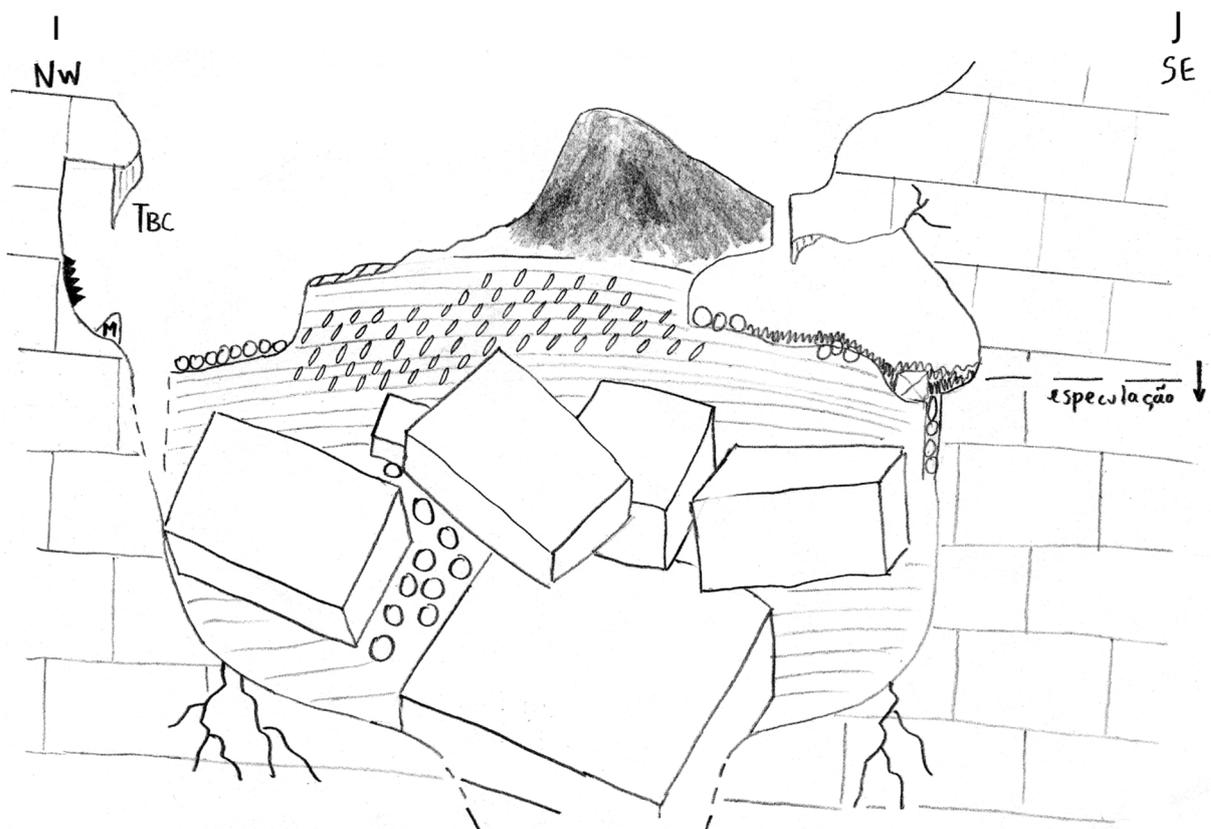
### SIGLAS

- T - estalactite(s)
- T<sub>EX</sub> - estalactite(s) excêntrica(s)
- T<sub>BC</sub> - estalactite(s) em bandeira ou cortina(s)
- T<sub>A</sub> - estalactites ao longo dum alinhamento ou fratura
- SS - soda-straws
- M - estalagmite(s)
- M<sub>I</sub> - estalagmite(s) inclinada(s)
- FM's - família de estalagmites ao longo de um alinhamento estrutural ou fissura no teto
- EAV - estruturas de apoio a visitantes

### SIMBOLOGIA

- ☞ vestígios de escoamento nas paredes
- ☞ corações ferruginosos
- ▨ argila
- ☞ crioclastos
- ▨ paredes concrecionadas
- clastos e fragmentos de rocha
- ☞ espaleotemas quebrados envolvidos em mantos estalagmíticos
- ☞ blocos e clastos concrecionados por cobertura estalagmítica
- ☞ pilha de detritos cimentados por cobertura estalagmítica
- ▨ mantos estalagmíticos
- ▨ chão estalagmítico (atual)
- ☞ blocos soltos do teto
- ☞ cobertura espinhosa de blocos e clastos por ação química da água

**Figura 40** - Legenda de siglas e símbolos utilizados nos esboços construídos à mão para os demais perfis do Algar do Pena (identificados em anexo II).



**Figura 41** - Esboço do perfil IJ (conforme Anexo II), sem escala.

O esboço da figura 41 pretende ser um resumo destas últimas evidências, especulando-se que esta zona (como, aliás, todo o setor inferior) se encontre numa situação de entulhamento desorganizado, quer seja por um evento tectónico passado, quer pela própria cedência dos materiais, definindo profundas fendas nas orlas do setor; muito provavelmente, dada a desorganização de blocos que se segue para NE e a sua fraca concreção, esta será uma zona bastante fragilizada, onde os lentos processos corrosivos da água continuam o seu trabalho

para evacuar os fluxos de *input* em profundidade, prevenindo futuro colapso de toda a estrutura e, conseqüentemente, o aparecimento de uma nova galeria.

Na parte final do setor inferior, oculta pelo setor superior, verifica-se uma predisposição dum caos de blocos envoltos numa cobertura estalagmítica. Nas imediações do Li13 surge uma particularidade que só neste local da gruta se encontra: uma cobertura “espinhosa” nas faces dos blocos, clastos, estalactites e estalagmites, que consta de cristais de calcite. Esta hipótese assenta no facto de que a água infiltrada e que chega ao setor inferior já ter anteriormente passado por uma fase de entrada na gruta (no setor superior) e ter-se novamente infiltrado e precipitado, trazendo com ela reagentes e uma composição química diferente. De facto, onde ocorre esta cobertura de cristais de calcite, na sua vertical e no setor superior, há uma zona de receção de sedimentos e de água, bem visível a jusante da estalagmite estudada nº7; como se de um grande *gour* se tratasse, naquela zona do setor superior formou-se um dique onde tanto água como materiais transportados estagnam, induzindo alterações químicas à água transportada para esta fase do setor inferior.

Também junto deste local de interesse se verificam marcas de um evento que foi registado após a descoberta e exploração do Algar do Pena. O que se verifica é um destacamento de rocha do teto, que por via da descompressão contínua da gruta, libertou uma parte de si ao longo do normal pendor da estratificação.



**Figura 42** – Vestígios de colapso de uma parte do teto no setor inferior final: rocha a nu onde o destacamento ocorreu (esquerda) e o resultado do colapso no meio do caos de blocos (direita).

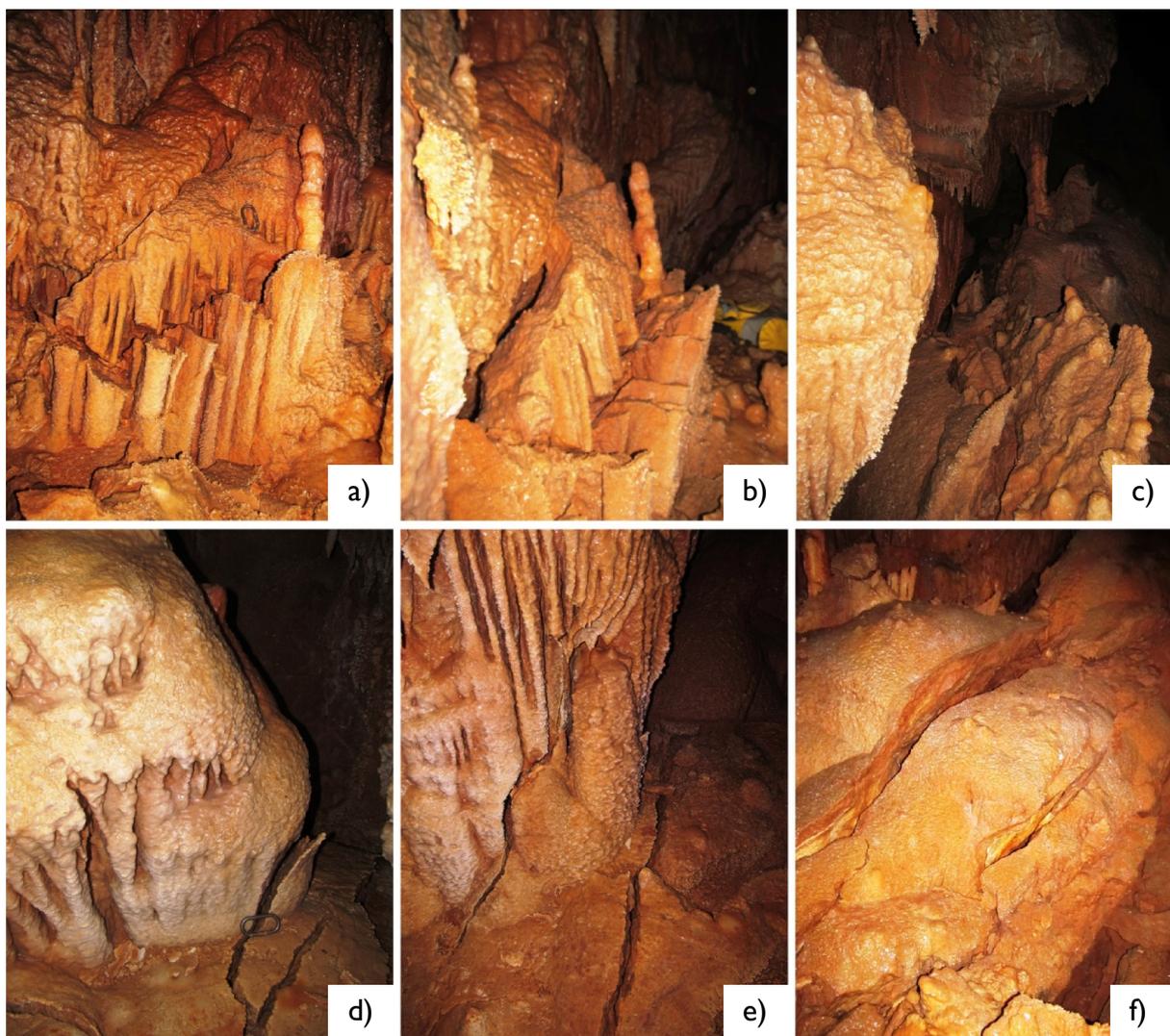
Verifica-se no local que os destacamentos do teto serão coisa comum, pois a rocha apresenta-se seminua, e a existência de estalactites é reduzida, aparecendo somente algumas de reduzidas dimensões e ao longo de pequenas diáclases. No entanto, ao contrário do que acontece no setor superior, aqui as estalactites estão menos impregnadas de argilas, o que é explicável pela maior distância para com a superfície, apresentando-se com calcite (mais) pura.

Porventura, e dada a alteração química da água induzida pelo setor superior, a fase construtiva das estalactites será limitada, deixando a construção para a fase seguinte ao gotejo, a qual, mesmo assim, não consegue ser tão eficaz e levando à construção dos cristais de calcite nas faces dos blocos, clastos e espeleotemas imediatamente por baixo. De facto, se conjugarmos esta ação com a própria decantação natural que a gruta proporciona, o que se verifica entre o caos de blocos é uma presença de argilas, que independentemente da altura do ano estão mais ou menos num estado lamacento.

A Este do Li13 torna-se evidente, mais uma vez, o fenómeno de fraturação que domina nos flancos de todo o setor inferior, que traduz um ajustamento de todo o depósito de materiais do setor em busca dum espaço livre em profundidade. O resultado destas fendas constata-se pelas estalagmites e pela base das paredes (nas suas cascatas estalactíticas), quebradas, e destacadas em lâminas; estas lâminas verificam-se essencialmente onde se dá o encontro das paredes com a base, ou nos depósitos que aí se situam (figura 43).

A cota mais baixa de todo o Algar do Pena (-85m) assinala-se na perda ou sumidouro encontrada a Norte do Li14. De facto, esta corresponde ao local de escoamento e consequentemente entulhamento do conjunto de materiais e blocos vindos de cotas mais altas, e por sua vez, de toda a cavidade. Esta encontra-se, na sua grande parte, colmatada por argilas, com alguns clastos na sua estrutura; é aqui que se torna evidente a continuidade da galeria em profundidade, tratando-se na realidade de um pequeno espaço onde mal cabem duas pessoas, atulhado por blocos, e que pelo meio deles surgem espaços vazios que sugerem essa mesma continuidade em profundidade. Ora a água conflui toda para este ponto, e com ela traz os materiais mais finos, pois a disponibilidade de argilas neste local é enorme.

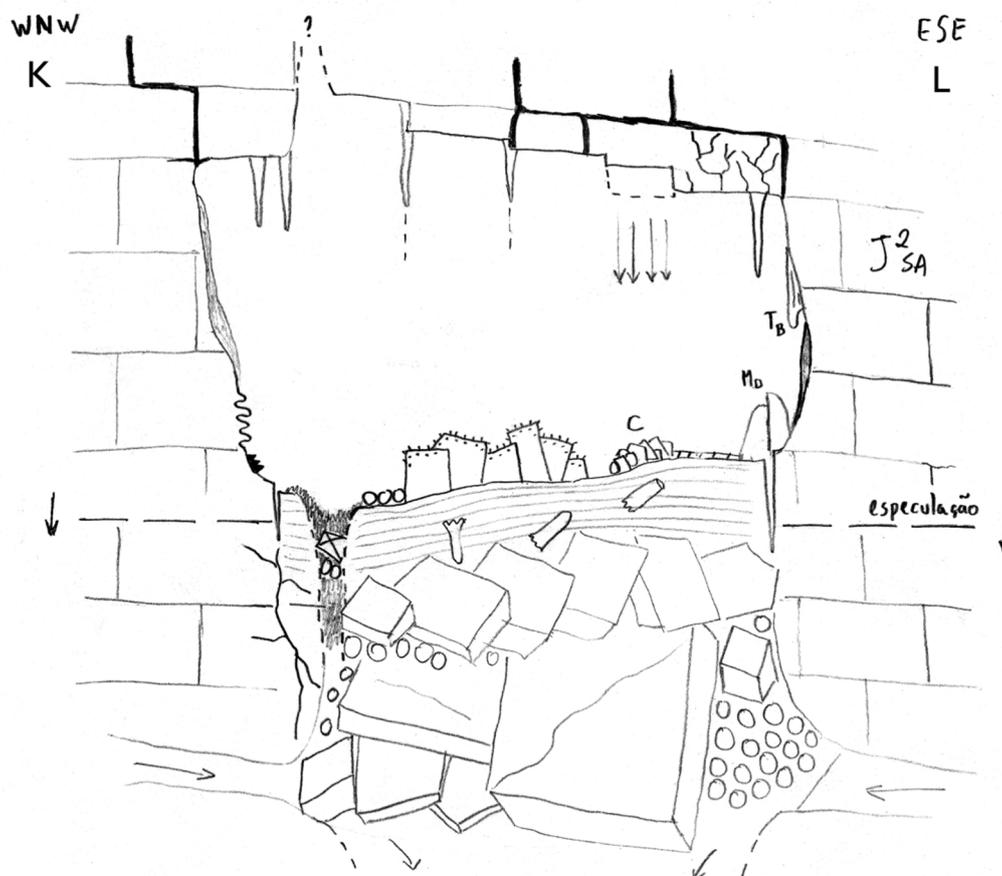
Na parede adjacente encontram-se, mais uma vez, marcas de escoamento acompanhadas de couraças ferruginosas. No entanto, aqui as marcas de escoamento apresentam-se mais evidentes, ocupando uma grande área de parede nesta zona de flexura do setor inferior. Recordando Trudgill (1985) e Salomon (2006) (figuras 3 e 4, respetivamente), constata-se que houve uma fase de escavamento vadoso ao longo de um plano, neste caso pelas juntas de estratificação; é também de notar que esta evidência só se verifica nesta parede, uma vez que na oposta é inexistente. O que se verifica é um aproveitamento de uma junta de estratificação pela antiga fase vadosa que se viu coberta por materiais concrecionados de cima para baixo, mas que nesta inflexão do setor permaneceu nua e à vista, e onde as couraças ferruginosas se depositaram. Estas couraças mais uma vez encontram-se envoltas numa matriz argilosa.



**Figura 43** - Resultado da fraturação nas imediações do Li13: a) cascata estalactítica e estalagmites quebradas em duas lâminas a NE; b) o mesmo local, mas visto duma perspectiva lateral, visão NW-SE; c) a SE, o resultado do descolamento de parte da cascata estalactítica da parede que lhe deu origem; d) a NW fenda a cortar o rebordo final da cascata estalactítica; e) evidência dum descolamento em duas lâminas; resultado do fendimento no chão estalagmítico, local onde desaparece o acumular de depósitos concrecionados na base da parede, e onde impera um chão estalagmítico livre de influências de cascatas estalactíticas.

Como sistematização dos fenómenos observados, construiu-se um esboço correspondente ao segmento KL que consta representado em Anexo II (figura 44). O que se conclui é o que já há muito se tem vindo a discutir: o setor inferior é um entulhar contínuo de materiais do próprio setor e dos outros. Por outro lado, a quebra de suporte pelos materiais subjacentes obriga à especulação, que embora verificado no local que a quebra existe, não se pode dizer com toda a certeza o que se passa debaixo do chão. Assim, e dado o verificado, sugere-se que por baixo haja uma continuação para uma galeria, que se encontra à espera de ser descoberta após o colapso de todo este setor inferior. As marcas freáticas e as couraças são indícios de estabilidade de antigos níveis piezométricos; como o regime climático não permite

uma abundância em água como outrora já houve, o conseqüente nível piezométrico especulado será porventura a fase final de desenvolvimento subterrâneo de todo o Algar do Pena.



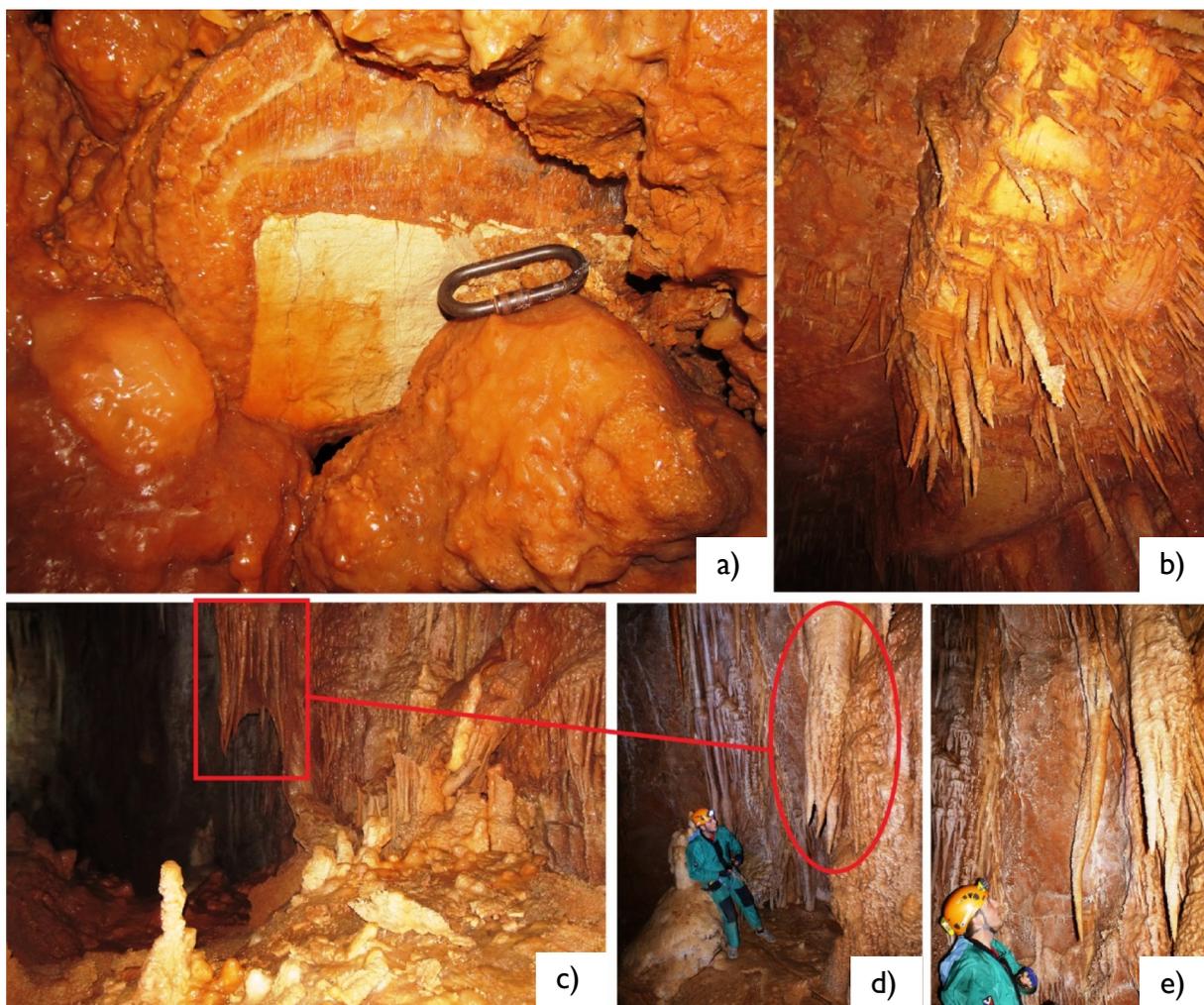
**Figura 44** - esboço do perfil KL (conforme Anexo II), sem escala. Legenda na página 119.

No flanco NE da fase final do setor inferior dá-se uma profunda alteração nos depósitos, desaparecendo a cascata estalactítica desenvolvida ao longo da parede, para surgir uma parede próxima da vertical, por onde vigorosas estalactites se desenvolvem. No chão é de constatar declives próximos da planura, onde se criaram condições para a formação de *gours* de pequena dimensão (de que a fotografia 4 é exemplo do local). A fraturação no chão mantém-se, embora o pronunciamento não seja tão notório, vendo-se as fendas mais estreitas, e não apresentando degraus de grandes dimensões como acontece para montante. De facto, este local é o penúltimo grande degrau do setor inferior, onde o declive estabiliza e que sugere uma zona de menor influência pelo abatimento que acontece por baixo do setor inferior.

A Este do Li15, surgem uma série de estalactites com um desenvolvimento muito anómalo em relação a todas as outras deste setor. Estas estalactites apresentam um crescimento por percolação de água ao longo das suas faces exteriores, o que por si sugere um maior *input* de água no seu crescimento e, conseqüentemente a sua dimensão. A forma que elas assumem deve-se a essa percolação, que por aproveitamento das irregularidades das suas faces, atribui-

lhe um feitiço em espiral, em que o seu eixo não é fixo por influências externas, ou seja, a maior disponibilidade de água por fornecimento interno é complementado por outro fornecimento oriundo da parede e/ou do teto, fazendo com que o gotejo na ponta dos seus ápices seja modificado por outro *input* externo que alcançou o ápice, e lhe atribui a nova direção conforme de onde venha o fluxo (figura 45).

Aqui lança-se mais uma pedra basilar que parece querer contrariar todas as hipóteses até agora lançadas sobre a gênese do setor inferior, pois duas situações parecem se verificar: a primeira, que neste local a influência do colapso induzido pelos materiais subjacentes não teve grande efeito, isto é, o chão não sofreu o devido efeito de deslocação, constatável pelas fendas estreitas e por um fraco movimentar do mesmo; a segunda, diretamente associada à primeira, aparenta demonstrar uma zona com suporte inferior, ou seja, na zona de estalactites trocoidais persiste rocha estável a sustentar o chão ao contrário das zonas mais afastadas da parede. Constata-se, também, que os fenómenos de destaque de blocos de teto neste local são mais estanques, pelo que nem fragmentos dele no chão ou pedra crua se verificam, mas sim a presença de uma rocha coerente com poucas diáclases, por onde surgem estalactites pequenas, posteriores a uma fase de tipo *soda-straw*. Esta coerência da rocha poderá ser constatada pela cor dos espeleotemas, muito próximos do branco puro da calcite, o que consta uma filtragem da água para cotas mais elevadas ou pura e simplesmente a não influência de impurezas oriundas doutros locais.



**Figura 45** - Tipos de depósitos e espeleotemas encontrados entre e nas imediações dos Li14 e 15: a) bloco de calcário coberto por formação estalagmítica, envolto pelo caos de blocos, e proveniente de outro local da gruta; b) caos de estalactites no teto, desenvolvidas num bloco por destacar, e com eixos de desenvolvimento sem normal dispersão; c) panorama da parede a ESE do Li15, onde se destaca o caos de espeleotemas quebrados na base da parede, e em plano de fundo, as grandes estalactites com desenvolvimento trocoidal; d) alteração no tipo de depósitos; e) pormenor às estalactites, com destaque à estalactite trocoidal de maior dimensão encontrada.

A Norte do Li15 encontra-se uma maciça família estalagmítica, que ao mesmo tempo alinhamento, encontra-se tombada, assente em blocos mal acamados, e/ou por influência do desabamento do chão onde estas assentam, tombou para NNW, tendo isso mesmo influenciado o crescimento vertical das respetivas estalagmites (figura 46, a). Por outro lado, as estalagmites não apresentam eixos de crescimento normais, pelo que observando no local não lhes é possível atribuir um padrão de desenvolvimento, crescendo umas para Este, outras para Oeste, bifurcando, ou simplesmente deixando de ter fases construtivas para passar a fases destrutivas (ápices chatos). Na abrangência deste local, no caos de blocos onde a família de estalagmites se insere, ocorre uma deposição superior de fragmentos e materiais de pequenas dimensões, que concrecionados, apresentam saliências redondas e lisas nas suas faces, sugerindo a presença de pequenos calhaus sob a cobertura calcítica. Por sua vez esta cobertura já

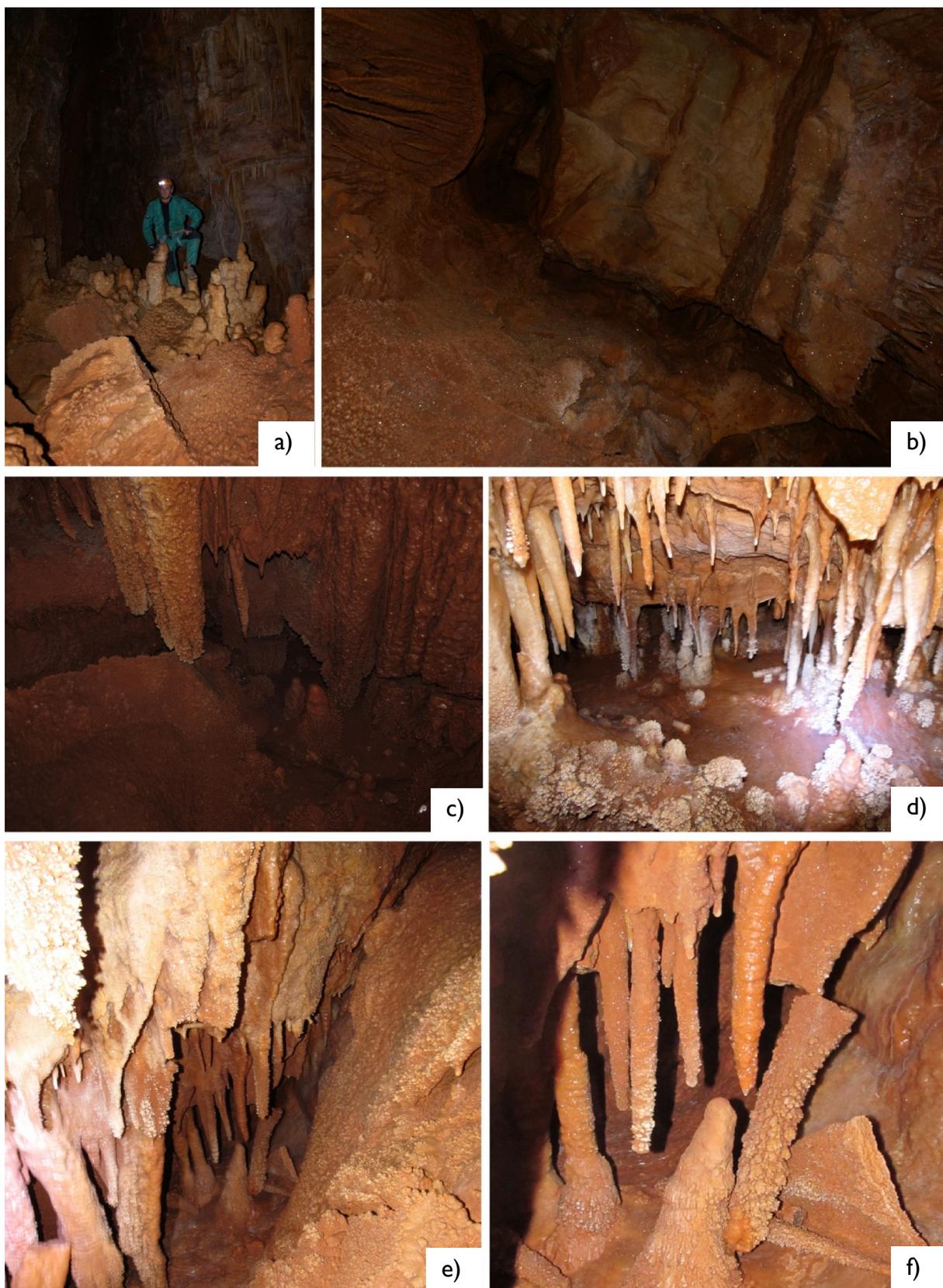
sofre duma forte invasão de argilas, que aparenta associação à pequena chaminé e às diáclases que dela irradiam. Este local é o término da influência da cobertura de cristais de calcite sobre os materiais depositados, voltando depois a surgir mais enclausurados no ponto mais NE do setor, por trás do cone de clastos que lá se encontra.

A Oeste do Li15 encontra-se uma grande entrada de água e materiais no setor inferior: uma chaminé, sem ligação direta à superfície, mas que pode ter ligação indireta a outros locais do Algar do Pena. No chão, e na sua vertical, verifica-se a presença duma enorme quantidade de clastos, que poderão corresponder ao resultado de algum colapso ocorrido previamente à descoberta do Algar do Pena, pois é visível no término da chaminé a pedra nua, sinónimo de um destacamento recente. É também visível a cobertura de cristais de calcite, que aparentemente por força deste obstáculo no teto, diminuem de tamanho, e passam de pontas aguçadas a pontas mais curtas e arredondadas.

No flanco Norte e terminal do setor inferior, encontram-se formas de importante relevância para o entendimento da génese de todo o setor. A presença de um cone de dejeção deformado indicia uma dinâmica diferente daquela que foi iniciada no final da fase inicial do setor inferior, pois não é perceptível qualquer ponto de entrada que justifique uma acumulação tão grande de materiais soltos, seguidamente concrecionados. Por sua vez, e dada a elevada concentração de blocos a Sul, a sua génese pode estar associada a uma prévia fase de acumulação de argilas, clastos e outros materiais de pequenas dimensões nesta zona final do setor inferior, que após abertura da passagem da parte inicial para a final deste setor por meio de um grande colapso, poderá permitir a circulação de uma grande torrente de água que poderá arrastar toneladas de blocos para o atual setor inferior final. Esta acumulação de blocos a Sul apresenta-se como uma barreira parcial ao escoamento de água pelo chão, verificando-se toda uma panóplia de pequenos *gours* na parede Norte e adjacente ao cone de dejeção, com variadas e numerosas estalactites e estalagmites de pequenas dimensões a surgir na base da parede, incrustadas nos *gours*, e com a cobertura de cristais de calcite evidenciada a Sul, como cobertura dos blocos. A fratura de orla do setor verifica-se igualmente na base desta parede, cortando os *gours* e será a provável definidora da face Norte do cone de dejeção, bastante declivosa e pouco concrecionada.

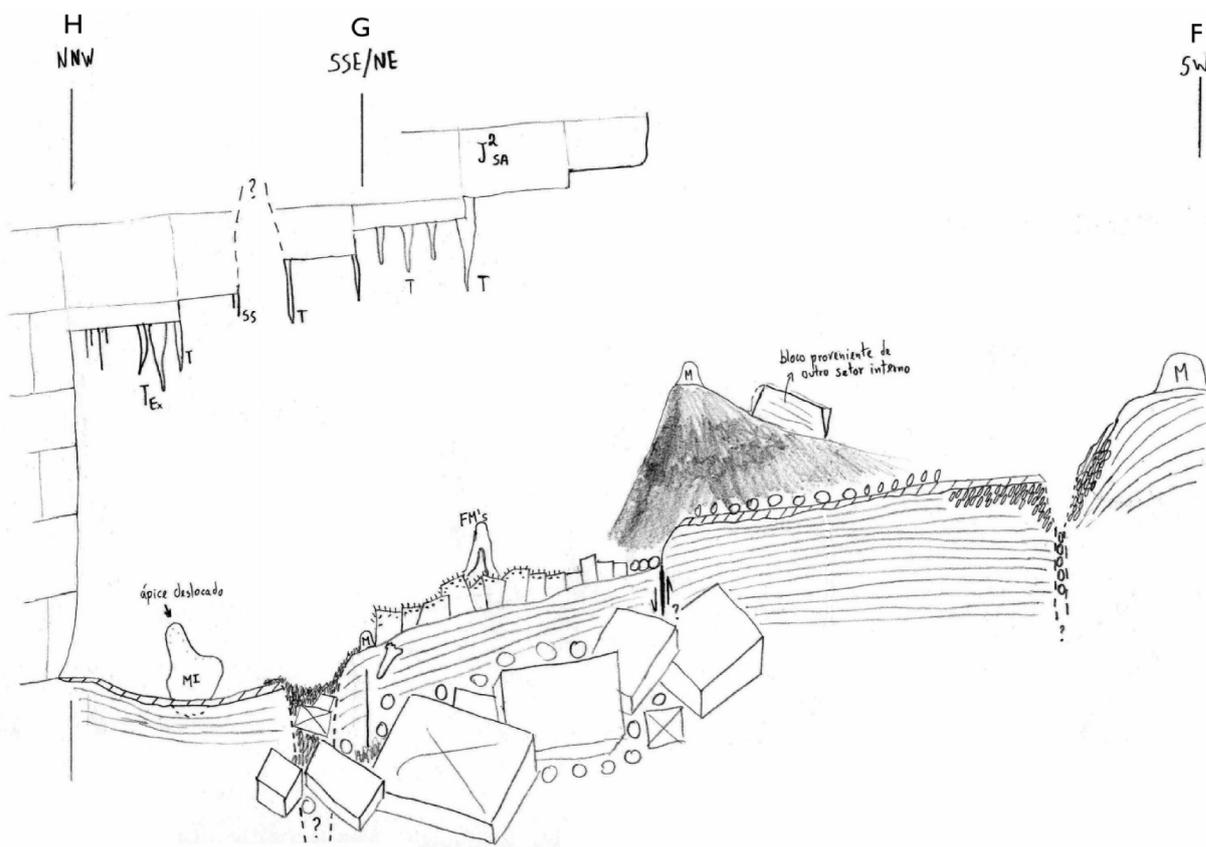
Analisando a face de parede final, podemos perceber uma definição muito rígida da sua orientação, apresentando-se muito retilínea e com continuidade para uma reentrância na zona mais NW do setor inferior. A hipótese por trás desta ocorrência poderá estar associada a fraturas dentro do maciço rochoso ao longo de todo o seu desenvolvimento, quer seja por

meio de tensões, descompressões, cavalgamentos ou inclinações. Poderá esta ser uma zona de fragilidade que, para além de definidora do término do setor inferior, é também provável responsável pelo deslizamento do suporte de terreno que o setor apresenta, ou seja, mais um condicionante a juntar aos materiais especulados subjacentemente. Por outro lado, é notória uma inclinação da parede para Sul, o que demonstra a fase de descompressão verificável no interior de toda a gruta, e em paredes sub-verticais, formando um ângulo agudo em relação ao plano, tal como se constatou no setor intermédio. Tal como nesse local, dá-se um deslizamento dos estratos uns sobre os outros, encontrando-se essa evidência mascarada pelos espeleotemas que se formaram ao longo da face da parede. De facto, a inclinação da parede sujeita as estalactites a uma formação vertical, apenas adulterada pela percolação de água pelas suas faces externas, que começa a sujeitá-las a uma formação em bandeira ou cortinas.



**Figura 46** - Formas e depósitos encontrados no flanco Norte do setor inferior final: a) vista para a família/alinhamento de estalagmites (foto de Olímpio Martins); b) chaminé e respetivo alinhamento por onde se dá a entrada de materiais e água; c) fenda e restos de um *gour* junto do flanco Oeste do cone de dejeção concrecionado; d) pormenor dum eventual *gour* e das diferentes formações de espeleotemas incrustadas; e) espeleotemas no flanco Este do cone de dejeção; f) zoom de pormenor aos espeleotemas quebrados por rearranjo dos blocos e dos materiais subjacentes ao chão, que originam um empurrão do cone de dejeção para Norte.

Em última análise, construiu-se um esboço correspondente ao perfil HGF marcado em Anexo II (figura 47), que pretende ser uma tentativa de explicação dos fenómenos e dos depósitos encontrados ao longo de todo o setor inferior, perdendo apenas em detalhe junto da grande família de estalagmites na sua fase final, mas que sumaria grandemente tudo o que foi verificado e descrito.



**Figura 47** - Esboço do perfil HGF (conforme Anexo II), sem escala. Legenda na página 94. Legenda na página 119.

Terminada a análise a este setor, segue-se o setor superior, onde domina o caos de depósitos concrecionados num denso manto estalagmítico, rígido e sem fendas visíveis, e quando assim não é, sobre ele um caos de estalagmites das mais variadas formas e feitios. Uma reentrância verificar-se-á no setor NE do setor, que merecerá destaque próprio no que toca aos desvios de crescimento das suas estalagmites.

#### 3.1.2.4. Setor superior

O setor superior corresponde às cotas mais altas de todo o Algar do Pena. De forma retangular com orientação N-S, tem encontro com o setor inicial numa saliência estrutural

interna, com uma topografia pouco declivosa, como sucede na fase inicial daquele setor; encontra-se também com o setor intermédio, demilitando-se mutuamente por uma escarpa de cerca de 5m de altura, fortemente concrecionada sob a forma de cascata estalagmítica.

A análise geomorfológica e espeleogenética deste setor tem início nas imediações desta escarpa, no seu flanco ocidental, onde se encontra o Li16. Ali, verifica-se a presença de grandes famílias estalagmíticas, com mais de 7m de altura, como se de verdadeiros torreões de calcite se tratasse. Com o começo do setor superior as características respeitantes à espeleogénese alteram-se grandemente, verificando-se uma maior eficácia na ação, induzindo-se uma maior facilidade de acreção quer pela maior disponibilidade de materiais e água como pela menor altura de gotejo, favorecido igualmente pela presença de grandes alinhamentos e fendas no teto.

Neste local encontra-se a estalagmite nº7, tida em consideração para quantificação. Esta situa-se num local de estancamento de água e materiais, proporcionado por uma série de famílias de grandes estalagmites, que de certa forma constituem barragem aos fluxos oriundos das cotas mais altas (figura 48). Exemplo disso é a permanência constante de água ao longo do ano neste sítio, onde a sua acumulação ligada à presença de argilas escoadas e precipitadas de cotas superiores revelam uma zona de lamas. De facto, aqui também se verificam alguns blocos, que devidamente acoplados no chão estalagmítico e completamente cimentados, são indícios de antigos destacamentos do teto. No entanto, o teto apresenta-se muito regular ao longo de todo este setor, só sendo interrompido pelas grandes chaminés que se verificam nos seus flancos NE e SE. Este barramento de água e de argilas aponta-se como a principal fonte de alimentação ao setor inferior, que imediatamente por cima dele, será o principal responsável pela alteração química da água e criação dos cristais de calcite nos materiais do setor inferior, tendo as argilas sido decantadas ao longo do percurso para o espaço inferior.

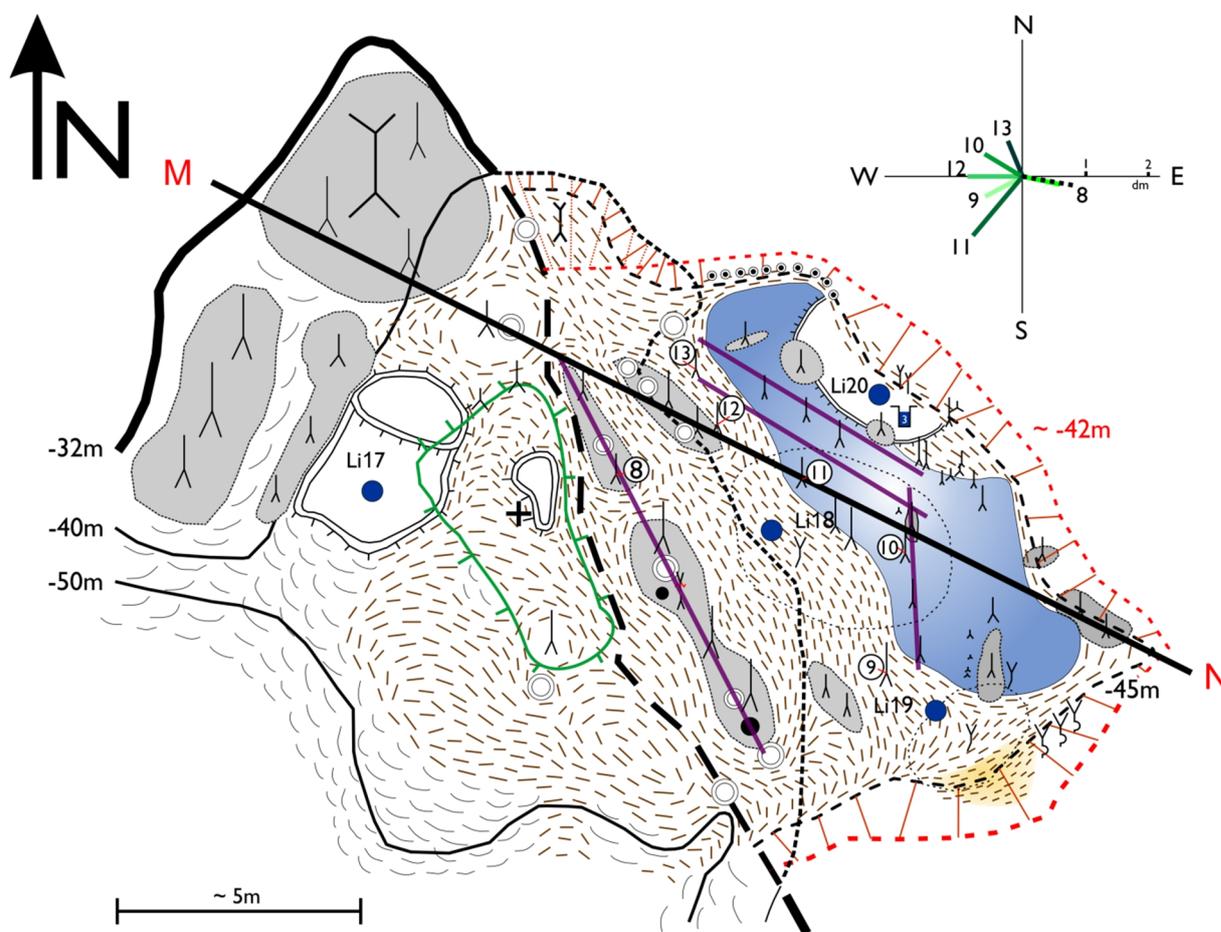
A estalagmite em análise nada mais é que um aglomerado de estalagmites correspondentes a um pequeno alinhamento de estalactites no teto, de que as grandes famílias de estalagmites que a rondam também são produto. Esta tem um desvio no seu crescimento de cerca de 12 centímetros, e a orientação do seu deslocamento é sensivelmente para SSE. O seu crescimento desenvolve-se como aparenta ser mote geral em todas as estalagmites da gruta: dividida em camadas, e sempre no mínimo três, o que traduz diferentes fases de crescimento, e por conseguinte, diferentes regimes climáticos.



**Figura 48** - Características do local onde se enquadra a estalagmite n°7: à esquerda, enquadramento do local com grandes famílias de estalagmites; ao centro, enquadramento da estalagmite n°7 no depósito de clastos e fragmentos de espeleotemas cimentados ao chão; à direita, pormenor da estalagmite n°7, com divisão das diferentes fases de crescimento.

Ora a segmentação e deslocação do ápice de acreção desta estalagmite parece ser justificada por fenómenos como o faseamento de fornecimento de água de gotejo pela estalactite, isto é, o alinhamento estalactítico ao longo da diáclase que lhe dá origem não apresenta grandes espécimes, o que se pode deduzir que houve quebra e consequente queda da estalactite, abrاندando o crescimento em particular na sua parte menor; por outro lado, e por via do pressuposto abalo que deu origem à queda da estalactite, todo o manto estalagmítico se terá deslocado para Oeste, empurrando paulatinamente a base em relação ao topo, o que é bastante provável dada a presença de diáclases na base da grande família estalagmítica no verso da estalagmite (segundo a perspetiva da figura 48, a), justificando-se assim o deslocar de ambos os seus ápices para SSE.

De particular interesse é a reentrância no quadrante NE deste setor, dando-se uma profunda alteração em relação a todo o modelado de irregular (e muito denso) manto estalagmítico, que dado o elevado declive, não surte no aparecimento de estalagmites, à exceção daquelas construídas ao longo dos principais e maiores alinhamentos do teto. A necessidade de uma representação mais pormenorizada desta mesma reentrância revela a necessidade de uma representação cartográfica de pormenor, constatável pela complexidade de formas e depósitos conforme se apresenta na figura 49.



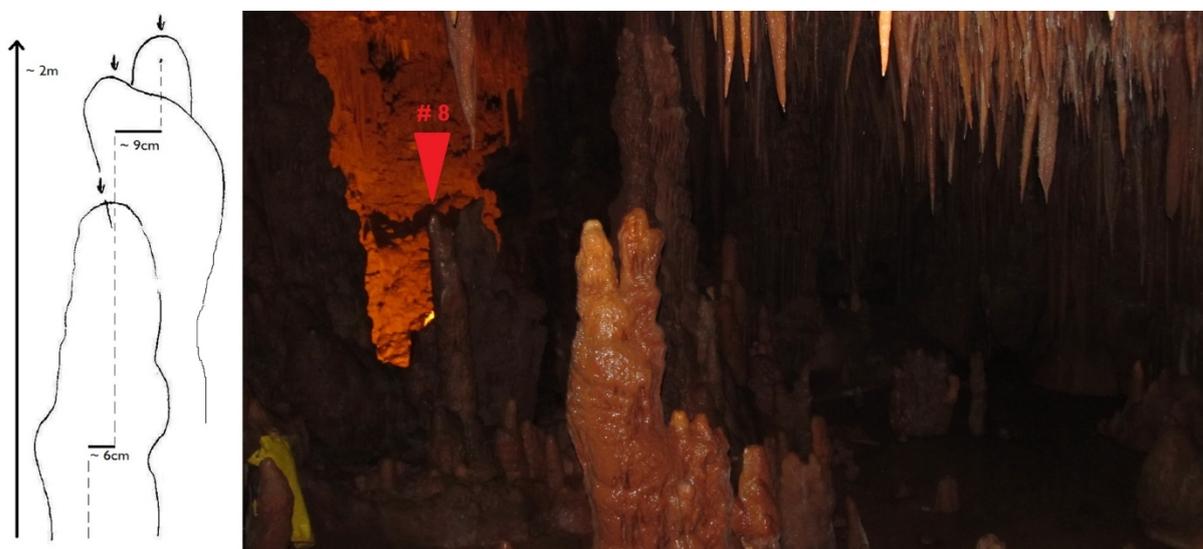
**Figura 49** – Pormenor da reentrância NE do setor superior, marcado em Anexo II, com representação gráfica da variação dos eixos dos espeleotemas usados como amostra para o estudo.

Das principais formas marcadas neste pormenor destaca-se o grande *gour*, compartimentado em dois, e onde se situa o Li17. Situando-se numa zona de declives mais suaves, deve a sua existência a condicionantes estruturais promovidos por grandes alinhamentos estalagmíticos que criam situações de barragem e retenção de águas, que embora sem rebordos de calcite nas suas orlas, a presença de água apenas durante as estações mais pluviosas revela uma dinâmica de estabilidade. Ambos sofrem da influência do *input* que a chaminé oferece, formada paralelamente ao rebordo do teto por onde toda esta reentrância do setor superior se constrói. Embora interligados, situam-se a diferentes cotas precisamente pela irregularidade do terreno onde assentam, constituindo ambos situações de criação de estabilidade no terreno por via dos fenómenos espeleogenéticos.

Neste rebordo paralelo à chaminé, é visível todo um alinhamento de estalactites que aproveitou para se desenvolver por percolação ao longo da cornija que o teto contém, o que por si indicia que do lado exterior do rebordo o destacamento de blocos fora outrora um fenómeno comum; por outro lado, do limite deste rebordo/saliência do teto para NE a espe-

leogénese torna-se fortemente ativa, em que tanto estalagmites como estalactites são favorecidas pela situação de isolamento em toda a gruta, e em que a altura de gotejo é também a mais curta verificada.

É para NE deste rebordo e dentro da reentrância que se encontra a estalagmite estudada nº8. Situada num aglomerado ou família de estalagmites (e estalactites), apresentam sentido paralelo ao rebordo do teto, bem como aos limites da chaminé adjacente. Esta estalagmite tem um desenvolvimento para ESE, e é exemplo único da amostra de estalagmites recolhida neste setor, divergindo o seu eixo por duas vezes e para o mesmo sentido. Este exemplar é um aglomerado de três estalagmites, desenvolvidas ao longo de um alinhamento de estalactites de diferentes tamanhos, isto é, o tamanho das estalactites é díspar da dimensão das estalagmites ou da sua zona de acreção (figura 50). Por sua vez, o ápice mais baixo é o que revela uma estalactite correspondente (e condicente) de maior dimensão, e os dois ápices finais revelam estalactites de menores dimensões (c. 30cm max.), o que será de induzir que duas situações ocorreram: o *input* de água é vigoroso e a facilidade de acreção fez-se sentir, ou previamente a existência doutras estalactites de grandes dimensões foi negada, e voltou-se a desenvolver novas estalactites. Tratando-se de uma zona aparentemente bastante estável, a segunda hipótese é refutável, não se verificando indícios de estalactites quebradas nas imediações, com marcas de cimentações ou de novos crescimentos.



**Figura 50** - Estalagmite nº8, esboço do seu desenvolvimento e seu enquadramento no setor superior. À falta de fotografia tirada (por lapso), apresenta-se um esboço representativo da variação dos seus ápices (esquerda), segundo um perfil de orientação NNW-SSE. À direita, marcação da sua localização, apresentando-se o caos de estalagmites à esquerda, o lago à direita, e a estalagmite nº8 assinalada a vermelho.

A SSE da estalagmite nº8 existe toda uma série de espeleotemas de grandes dimensões, incluindo estalactites, estalagmites e colunas. Sem denotar grande excentricidade no seu desenvolvimento vertical, todas estas revelam grande rigidez e imponência. O que se verifica é a perduração de um imenso chão estalagmítico, de onde se destacam espeleotemas de grandes dimensões, mas com uma particularidade que aparenta ser geral nesta zona do setor: algum fenómeno tectónico ou de influência estrutural quebrou as estalactites pela sua união com o teto, e foram cimentadas de seguida ou até mesmo quebradas para desenvolver novas estalactites.

A melhor evidência é uma estalactite que nunca chegou a ser uma coluna, como é tendência das estalactites de grandes dimensões nas imediações (figura 51). Ora isto sugere que por força de algum abalo tectónico ou cedência do teto desta zona do setor superior, o deslocar do topo em direção ao chão levou à quebra dos espeleotemas pela sua área de união, em particular os provenientes do teto.

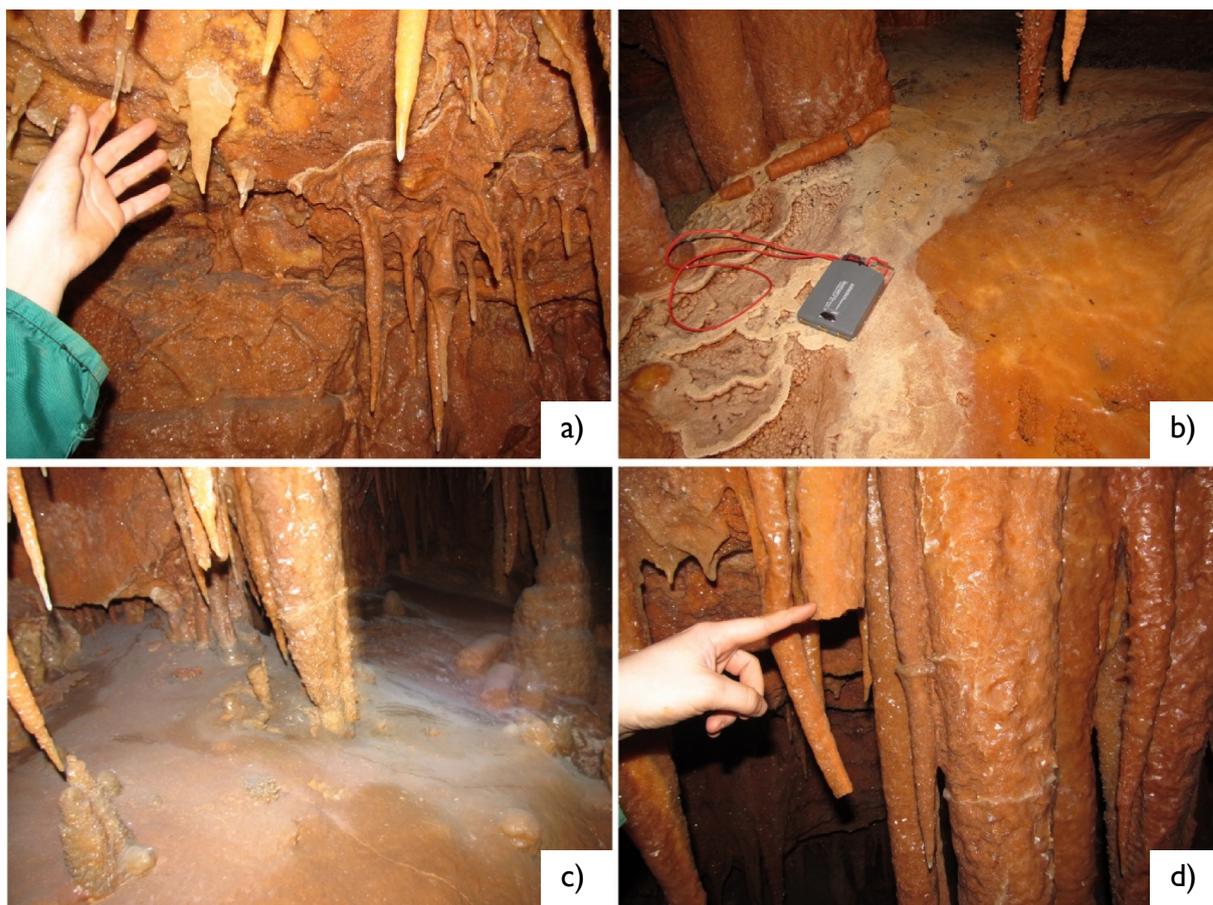


**Figura 51** - Coluna e estalactite quebrada com nova concreção (esquerda); panorama de instabilidade estrutural do teto nas imediações SSE da estalagmite nº8 (direita).

Esta situação sugere que a estalactite tenha quebrado por uma linha de fragilidade construída aquando duma das suas fases de crescimento menos vigorosa, que aquando do encontro da estalactite com a estalagmite a fim de construir uma coluna, a cedência do teto em relação ao chão foi o choque suficiente para quebrar a estalactite, mais frágil. Após esse fenómeno, a estalagmite manteve-se intacta, a estalactite voltou a crescer e, como se verifica na figura 51, veio a desenvolver-se pelas suas faces exteriores, criando uma série de novos ápices em torno do seu perímetro, dando a aparência em cascata estalagmítica àquela estalagmite abaixo, o que

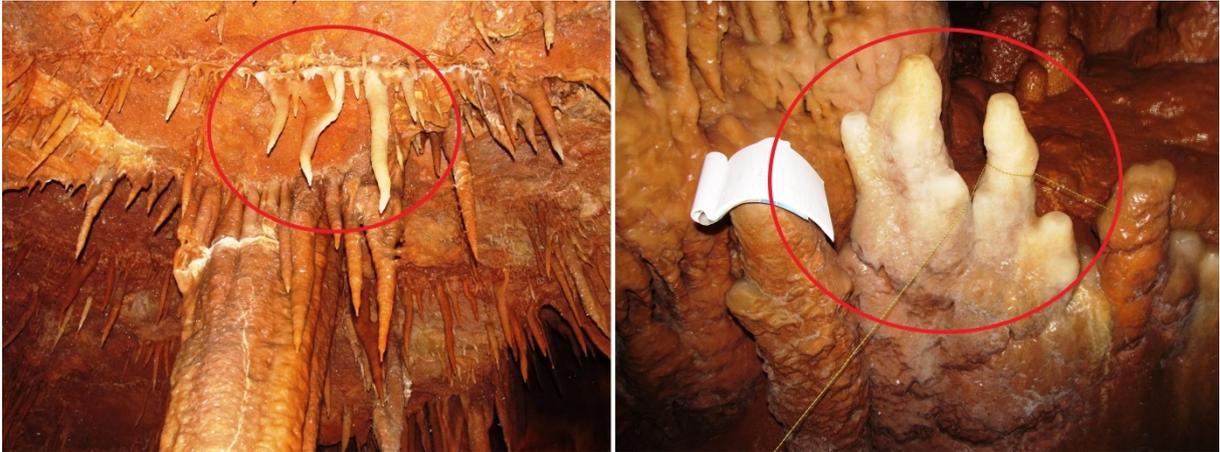
em suma induz que por baixo da cascata concrecionada seja possível de encontrar uma estalagmite mais ou menos uniforme. Este manto poderá ter influência no tipo de depósito subjacente ao teto, verificando-se grandes quantidades de argilas concrecionadas na face do teto. Este mesmo depósito, com todas as suas impurezas decantadas da superfície, será o principal responsável pelas formas excêntricas da grande maioria de estalactites verificadas, que como se verá mais em diante, não há um padrão geral de excentricidade.

No flanco SE desta reentrância especula-se a evidência que estará por trás da gênese de toda esta zona NE do setor superior: todo o setor superior corresponderá a uma gigantesca escombreira de blocos, semelhante à do setor intermédio, paulatinamente colmatada e acrescida com novos destacamentos do teto. No entanto, toda esta reentrância corresponderá a um nível de estabilidade, guarnecida de materiais aglomerantes por uma entrada de água, ainda hoje visível e ativa, a SE do Li19. Com o sucessivo colmatar e arranjar do declive, que acentua da chaminé para SW, o concrecionamento define a estabilidade necessária para a definição de um reduto, onde mantos e alinhamentos estalagmíticos vigoram na contenção de toda a panóplia de materiais. Esta entrada de água, que corre atualmente por percolação dum grande rebordo na base da parede, fixa um manto calcítico de cor branca na sua face, o que induz uma alteração nos solutos de *input*, pois deixa de escoar água com calcite impregnada de argilas para passar a escoar água isenta de impurezas. Esta alteração poderá ser induzida pela mesma movimentação do teto que deu origem à quebra das estalactites, e que barrou a entrada às argilas, até que o lento processo de dissolução do calcário promova o escoamento das mesmas. Esta pressuposta movimentação é precedente à criação do rebordo estalagmítico, tendo deixado marcas nas estalagmites e estalactites que se desenvolvem onde a topografia entre a mesma e o teto perfazem um ângulo agudo, tendo-as quebrado, promovendo de seguida uma nova cimentação (figura 52). Não fica fora de consideração um evento tectónico que tenha promovido a movimentação do teto e levado à quebra dos espeleotemas, fica no entanto a observação que essa hipótese tem visibilidade nesta zona do setor superior.



**Figura 52** – Indícios de deformação encontrados a SE do Li19: a) estalactite de base irregular desenvolvida em lugar de antiga estalactite quebrada, em local de teto inclinado e com grande concrecionamento; b) manto de calcite muito denso, de cor leitosa, com estalactite quebrada e cimentada a montante de uns *microgours*, rodeado de excrementos de morcegos (manchas negras); c) manto de calcite noutro extremo da “barriga” estalagmítica, com aparência de pó, e onde se constatam cimentações nas estalactites adjacentes; d) estalactites quebradas e estalactites (re)cimentadas.

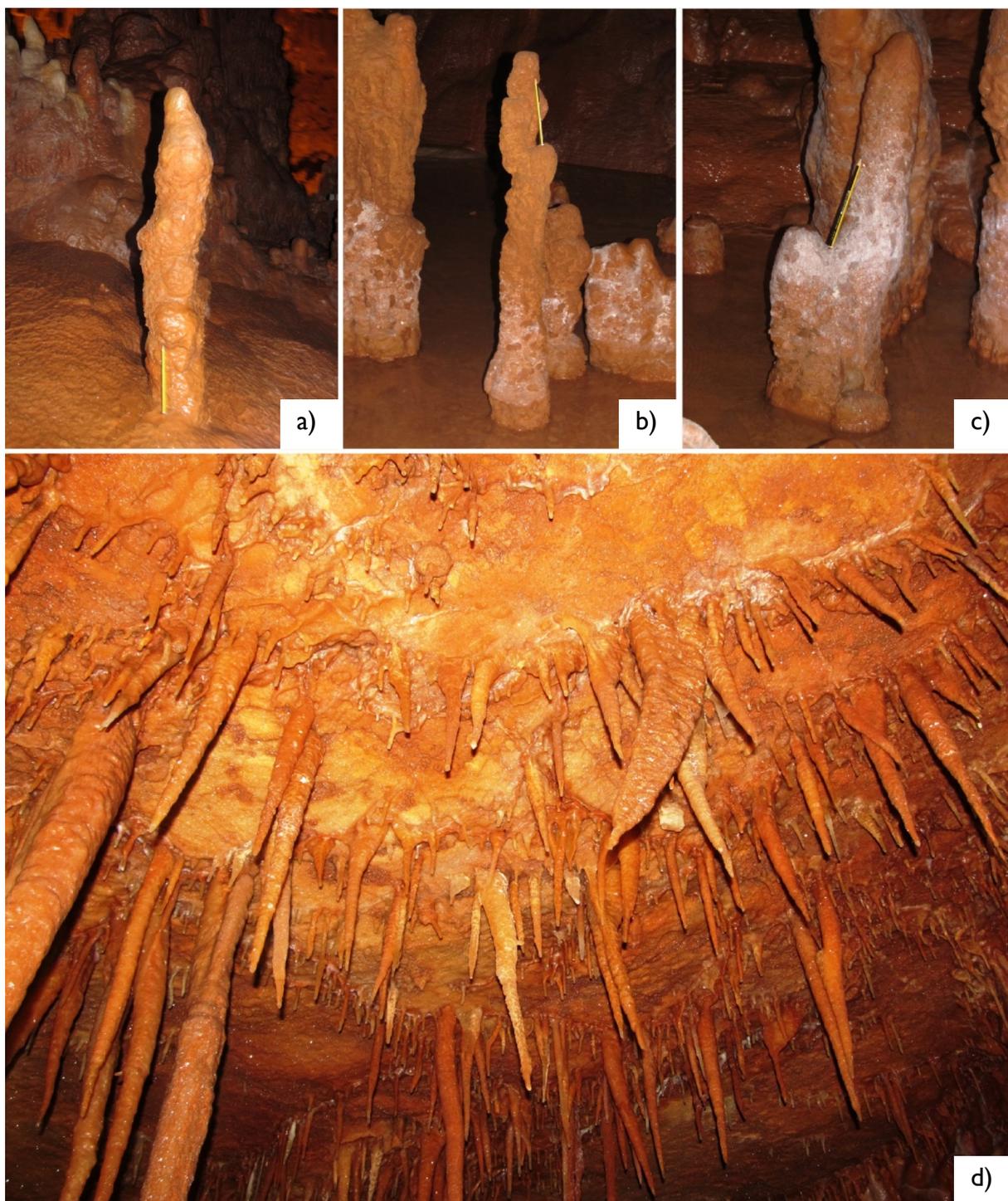
No quadrante NW deste local é também constatável um aglomerado de estalactites excêntricas que brotam ao longo das diáclases do teto, confirmando a nível local a influência dos depósitos sobrejacentes, que por infiltração e pela percolação de água lhes altera a estrutura, inclinando-as aleatoriamente (figura 53). Por outro lado, o maior *input* ao longo das suas faces externas será o principal agente construtivo responsável pelas suas formas.



**Figura 53** - Estalactites e estalagmites deformadas: à esquerda, estalactites excêntricas ao longo de uma diáclase paralela a um rebordo interno do teto; à direita, as respetivas estalagmites, que sofrem do mesmo efeito de desvio dos ápices por meio das respetivas estalactites. A cor branca tanto no *input* como no *output* revela as mais recentes fases de desenvolvimento dos espeleotemas, caracterizada por uma maior pureza dos materiais dissolvidos.

A NW deste local de interesse encontra-se uma estalagmite que mereceu atenção para a amostragem, apresentando um desenvolvimento vertical irregular ao longo dos seus cerca de 80cm de altura (figura 54, a). Na vertical desta estalagmite nº9 encontra-se uma estalactite de feitio excêntrico, que será responsável pela forma irregular desta estalagmite; no entanto, não se desconsidera a hipótese da irregular percolação da água ao longo das faces exteriores da estalactite, que por um *input* vigoroso (constatado *in situ*, durante uma visita no inverno) pode originar o gotejo bem antes de a água atingir o ápice da mesma. Formas como estas em teoria associar-se-iam à tectónica, mas como é tendência geral em toda esta zona do setor superior, o que se verifica é um desenvolvimento irregular de estalactites ao longo de linhas de fraturação ou de diáclases, que influenciam as estalagmites correspondentes, de que serve melhor exemplo a família de estalagmites a Oeste da estalagmite nº9, e suas estalactites correspondentes.

No leito do lago encontram-se duas estalagmites que mereceram atenção para ser quantificadas, sendo elas os números 10 e 11 (figura 54, b e c), ambas se bifurcando em dois ápices. Ambas se situam sob um aglomerado de estalactites excêntricas, em que não é possível distinguir duas estalactites com igual inclinação; estas estalagmites devem as suas alterações ao eixo, como foi verificado, a estalactites excêntricas, que no caso da estalagmite nº11 se deve a duas estalactites adjacentes, uma sub-vertical e outra excêntrica, e no caso da nº10 a duas pequeníssimas estalactites, numa fase seguinte a *soda-straws*, unidas entre elas. Por sua vez, a estalagmite nº10 tem uma alteração de eixo para NW, e a nº11 para SW.



**Figura 54** - Estalagmites amostradas no setor superior e estalactites excêntricas: a) estalagmite n°9; b) estalagmite n°10; c) estalagmite n°11; d) aglomerado de estalactites sem normal excentricidade sobre as estalagmites 10 e 11.

Sobre a superfície do lago dominam alguns alinhamentos estalactíticos, ao longo de diáclases, que não têm a correspondência de concrecionamento desejada, exceto em alguns indivíduos isolados; todo o restante gotejo termina na superfície da água, e não possibilita qualquer concrecionamento. No entanto, deposita os minerais dissolvidos no leito do lago, leito esse altamente desagregado, e que à mínima perturbação, deixa a água completamente

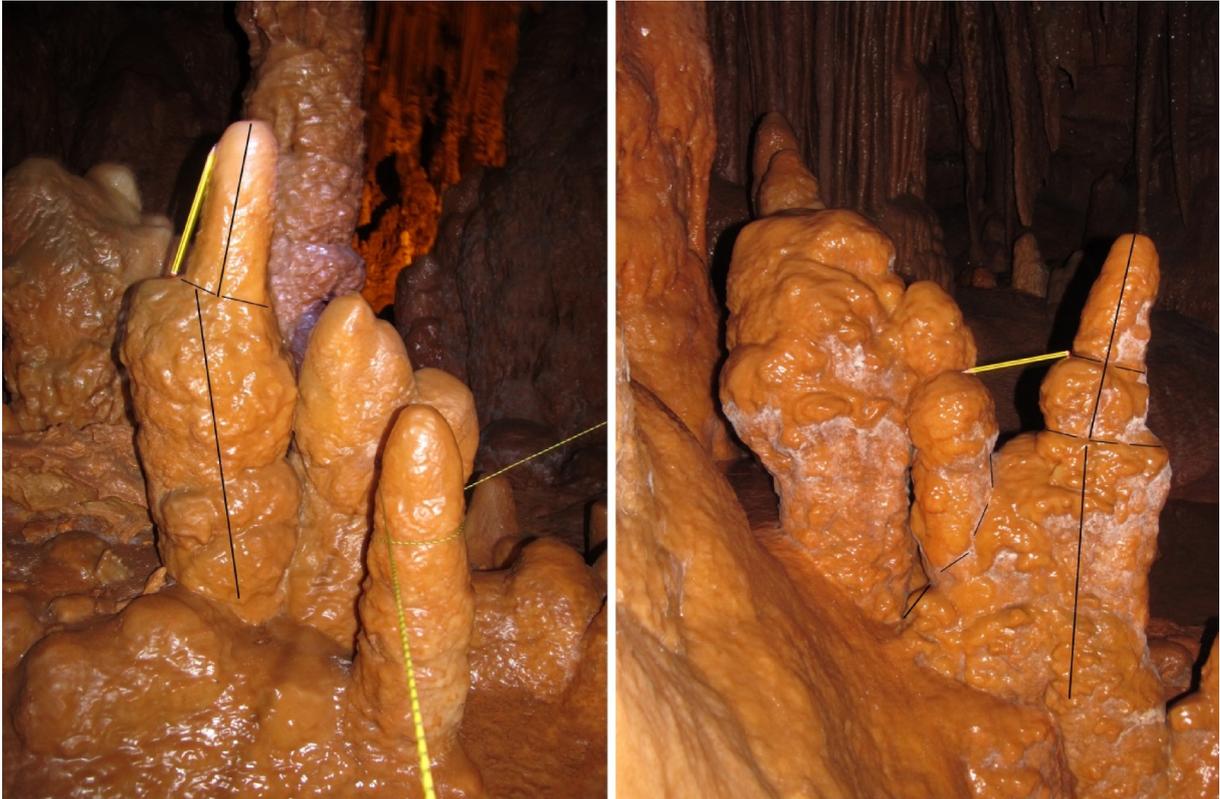
turva. No entanto, as lamas nele depositado não servem de retentores da água, acabando esta por se perder em profundidade com o começo da época estival, o que permite concluir uma porosidade acentuada na rocha (ou chão estalagmítico) que lhes está imediatamente abaixo.

No flanco NE do lago surgem formas de particular interesse no conhecimento da dinâmica espeleogenética desta parte do setor superior. Assim, nas imediações do Li20 verifica-se um grande *gour*, construído muito pela ajuda de uma escorrência proveniente da reentrância da parede que se vê mascarada por uma cortina de estalactites com tendência a formação em bandeiras. Estas estalactites devem a sua génese à escorrência da água ao longo duma saliência do teto que orla esta parede final, ocultando por trás delas um espaço vazio, inatingível por tão cerrado espaçamento entre as estalactites. No rebordo deste *gour* formam-se completas famílias de estalagmites, ladeadas por indivíduos isolados e com vigoroso desenvolvimento vertical



**Figura 55** - Família de estalagmites no rebordo estalagmítico a ENE do Li19, ao longo de um declive acentuado, destacando-se mantos de calcite e espeleotemas quebrados retidos a montante das estalactites; à direita, visão SSE-NNW para o lago e para as estalagmites que se formam no seu leito (cf. pormenor da figura 49).

Ainda respeitantes ao lago, afastado da sua margem NW, encontram-se mais duas estalagmites consideradas para a amostragem, as estalagmites números 12 e 13 (figura 56), e apresentando alterações aos eixos díspares uma da outra, embora separadas por pouco mais de 1 metro. A estalagmite nº12 apresenta uma divergência de cerca de 9cm para Oeste, enquanto a estalagmite nº13 tem uma divergência do seu eixo de 6cm para NNW. Mais uma vez não há um padrão verificável, e as estalactites subjacentes também se apresentam aleatoriamente excêntricas.

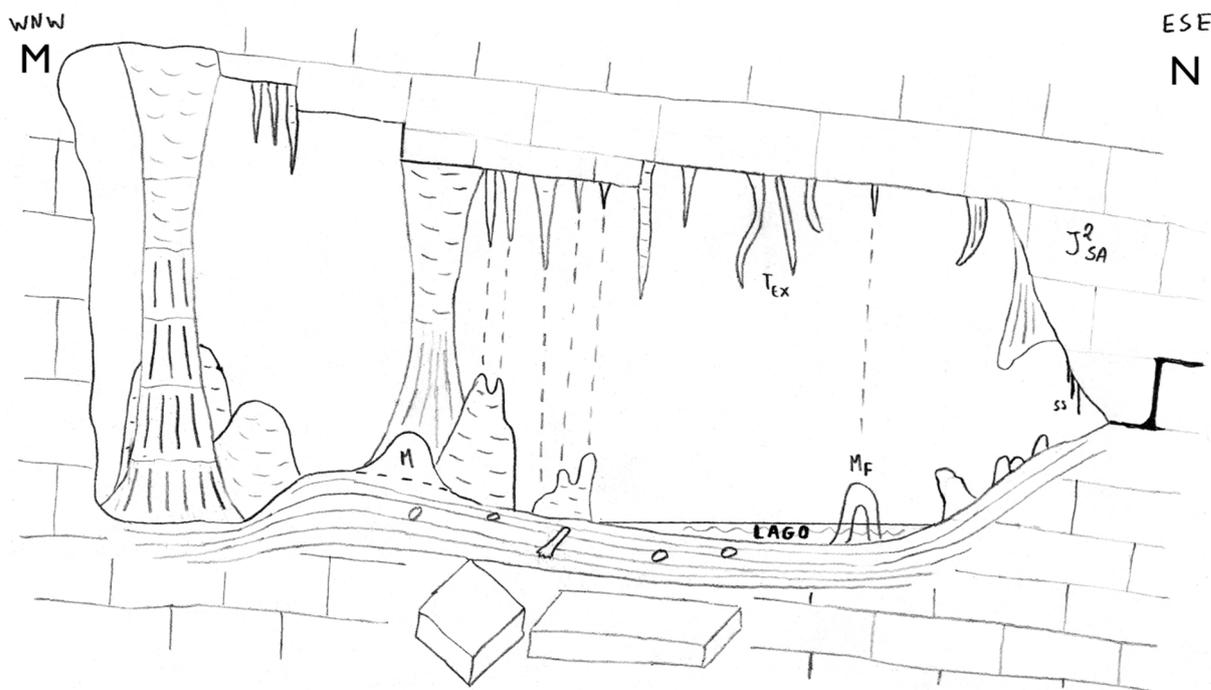


**Figura 56** - Estalagmites estudadas nº 12 e 13, respetivamente.

Com esta análise da dispersão das estalagmites, há a concluir que não se verifica um padrão de mudanças nos seus eixos, pelo que a tectónica ou até mesmo os fatores antrópicos não são perturbadores nas orientações dos mesmos. Por outro lado, todas as estalagmites do setor superior, as que foram tidas como prioritárias nesta temática, em nenhuma acontece uma situação de não correspondência do ápice da estalactite com a estalagmite, ou seja, todas elas são coincidentes. Por outro lado, o que se verifica nalgumas estalactites é que não têm uma estalagmite correspondente, perdendo-se o gotejo no chão e não construindo estalagmites; ocorrem também situações em que as curtas dimensões das estalagmites não correspondem às grandes dimensões das estalactites, e vice-versa, não apresentando igualmente quebras ou marcas de cimentações tanto nuns como noutros espeleotemas.

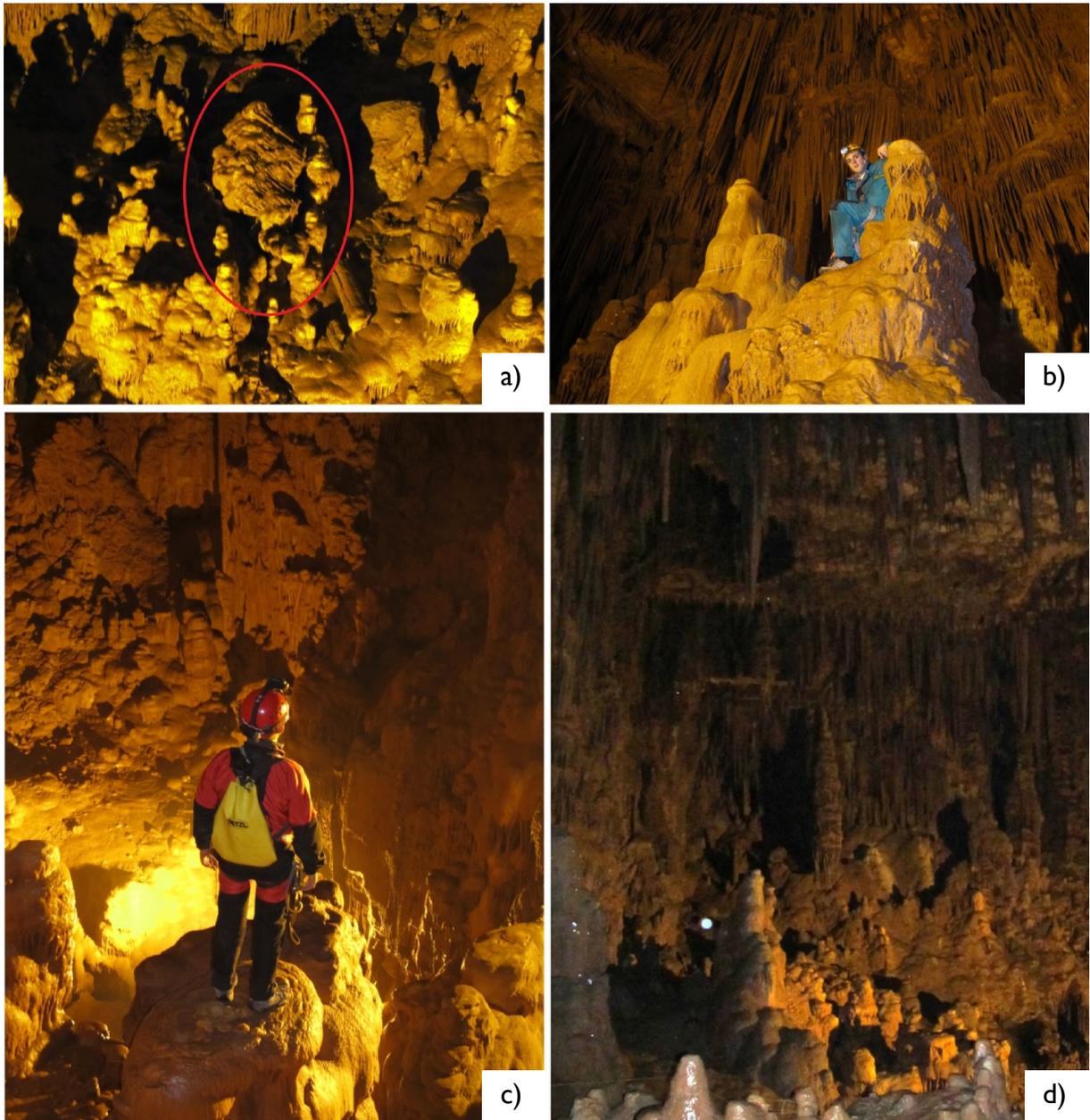
Fazendo uma análise final a esta zona NE do setor superior, deparamo-nos com um recanto isolado de toda a gruta, onde a morfologia e espeleogénese assumem características diferentes do resto do espaço que se lhe separa. Socorrendo-nos da linguagem biogeográfica, trata-se de um “nicho espeleogénico”, uma verdadeira incubadora de depósitos de grutas. É aqui que se encontram as formas mais fantásticas dentro do Algar do Pena, com as suas estalactites em bandeira, já apresentadas atrás, na fotografia nº2, bem como as estalactites mais inusuais (figura 57). Fora do rebordo do teto desta reentrância, no seu flanco Sul, é possível verificar-se igualmente a presença de estalagmites com os ápices alterados, com as suas pontas

chatas, o que revela um efeito destrutivo na água de gotejo fora do rebordo do teto. No que toca ao interesse turístico do CISGAP, este deveria ser o seu postal de visita, que embora no recanto mais longínquo da gruta, deveria exigir um maior interesse às visitas integrais guiadas aos demais visitantes.



**Figura 57** - Esboço do perfil MN (conforme Anexo II), sem escala. Legenda na página 119.

Fora do contexto da reentrância NE do setor superior, surge para Sul toda uma área de completo caos de estalagmites, que se continuará a verificar até à parede do extremo Sul deste setor. Este caos trata-se de todo um conjunto de famílias de estalagmites, favorecidas pelos alinhamentos demarcados no teto, onde embora nem por isso desenvolvam grandes estalactites, apresentam-se com grande frequência no teto. As estalactites que se desenvolvem ao longo daqueles alinhamentos são de pequena dimensão, o que dada a verificação de vários exemplares de estalactites partidas entre as famílias de grandes estalagmites, é sinónimo que caíram e ali se depositaram (figura 58). Aqui poderá ser tido em consideração um abalo sísmico “recente”, de que apenas as estalactites quebradas e uma família de estalagmites tombada são indícios, pois todos os outros espeleotemas se apresentam intactos, e pelo seu desenvolvimento são muitos mais antigos que esta eventualidade.



**Figura 58** - Morfologia do setor superior no seu quadrante Sul: a) família de estalagmites tombada, fotografada a partir do setor inicial; b) em cima de uma grande família de estalagmites, fotografia tirada da sua base por Alcides; c) “salto para o abismo”, fotografia tirada de cima da mesma família de em b) para a continuação da família em cotas inferiores; d) vista para Sul a partir da saída da reentrância NE, com destaque para o “altar” em fundo e todo o caos de estalagmites de grandes dimensões alinhadas ao longo do declive.

Estas estalagmites encaixadas em grandes alinhamentos apresentam-se estendidas até ao limite superior da escarpa delimitante a Oeste do setor, que depois se alteram para uma cascata estalagmítica; são inúmeras as estalagmites com os seus ápices individuais, ultrapassando a centena de indivíduos, fazendo desta zona a mais povoada em estalagmites de toda a gruta.

Usando a família de estalagmites tombada, nas imediações do Li21, constata-se que o tombo deste alinhamento estalagmítico para Norte aconteceu anteriormente à grande acreção

que tomou partido deste setor, isto é, aquela família tombou para cima da família imediatamente adjacente, porventura por ter uma base com pouca sustentabilidade ou fragilizada, sucedendo-se de seguida novo concrecionamento na família de estalagmites que lhe era inerente. Por outras palavras, numa primeira fase deu-se o crescimento vigoroso de todas as famílias, sucessivamente por algum evento sísmico ou simplesmente por colapso estrutural, a família de estalagmites tombou para Norte, depois continuou a vigorosa acreção, e no lugar da base da família tombada continuaram a formar-se estalagmites, atualmente de menores dimensões em relação às das famílias vizinhas. Assim, e constatando pelos densos mantos estalagmíticos que a ladeiam a Sul, esta família tombada sofreu de uma cimentação à família para a qual caiu, de que agora fazem parte como uma família só. No entanto, não há um paralelismo definido entre ambas, pelo que as suas irregularidades são fruto duma também não tendência de paralelismo nas diáclases do teto.

Contrariando o declive geral deste quadrante Sul do setor superior, verifica-se nas imediações do Li22 uma pequena estabilidade no terreno. Porventura e por influência da retenção que o caos de estalagmites propicia, verifica-se uma chaminé, provável responsável pelo vigoroso *input* de materiais nesta zona do setor superior. Aqui é possível encontrar um denso depósito de argilas, que embora muito soltas e dada a situação de contenção pelas estalagmites, argilas, alguns clastos e fragmentos de espeleotemas encontram-se pontualmente. Numa das visitas efetuadas recolhemos um espécime de uma certa espetacularidade, que se prevê que já lá estivesse estacionário há muito tempo (figura 59). Esta recolha caracteriza-se por um rebordo de uma cascata estalactítica, por onde a escorrência de água se fazia pela sua base, construindo ligeiros sulcos e por onde estalactites aproveitaram para se formar. Com a sua queda, essas mesmas estalactites quebraram, indiciando a sua origem proveniente dalgum rebordo interior da chaminé. No mesmo sítio onde se encontrou este espécime, constatámos também a presença de pedaços de solo lixiviado, de cor bastante negra, duma tez castanha muito próxima do negro; será por efeito deste tipo de solo que se terão formado as couraças ferruginosas que mencionámos a cotas muito mais baixas noutros setores. Encontrámos também vestígios de flora provenientes da superfície, como um pequeno ramo muito degradado, que não ultrapassava os 2cm de diâmetro por 6cm de comprimento, e até mesmo um caroço de azeitona, também muito degradado, e que facilmente se esfarelava.



**Figura 59** - Evidências do Li22: à esquerda, panorama da chaminé SE do setor superior, apresentando grande verticalidade, com cerva de 10m (fotografia de Olímpio Martins); à direita, espécime estalactítico recolhido no meio do depósito de argilas e clastos.

É de notar na abrangência deste local e nas paredes adjacentes que se desenvolve uma cascata estalactítica, que graças à grande verticalidade das paredes, mostra uma aparência bastante escavada, em que mais uma vez se verificam as linhas das juntas de estratificação a cortar a cascata, indiciando a deslocação de toda a estrutura da gruta para o espaço deixado em vazio.

Fechando a análise setorial, a parede final da zona Sul deste setor recebe atenção pelo escavamento que apresenta, assemelhando-se a um altar de igreja. Ora na base deste, desenvolvem-se estalagmites de pequenas dimensões, pontuadas mas alinhadas, que correspondem ao gotejo proveniente do rebordo do teto, onde se formaram algumas grandes estalactites. No entanto, e com base no que se verifica no rebordo, constata-se que estas quebraram, caíram e depositaram-se no chão, posteriormente cobertas por um manto de finos materiais, como é ordem comum neste local. Ora, na base desta reentrância apresenta-se um modelado com declives acentuados, que reentram parede dentro; no seu interior, numerosas estalactites e estalagmites preenchem o espaço coberto, terminando a reentrância numa pequena chaminé com pouco mais de 20cm de diâmetro na sua abertura. Esta evidência será a responsável pelo escoamento de grandes quantidades de materiais pela reentrância abaixo, construindo um verdadeiro cone de dejeção, com uma superfície lisa e de densa espessura. Estes mesmos materiais vão ser a principal fonte de concreção à cascata estalagmítica que cobre as couraças ferruginosas e toda a escarpa evidenciada a NE do Li8, traduzindo um *input* vigoroso através tanto a partir daqui como a partir da chaminé na zona SE do setor superior.

Muitos mais locais de interesse se poderiam apontar, ressaltando em primeira análise a deslocação às entradas das chaminés, possível de fazer, mas demasiado perigosa, ou aos

locais que no esboço geomorfológico foram deixados em branco, por lá não nos termos deslocado, logo não sendo passíveis de receber representação. Embora pudessem receber uma representação das suas formas induzidas à distância, seria pouco digna dada a já muito especulada reconstrução dos fenómenos e da genética por trás dos factos verificáveis no terreno.

Havendo factos mais certos e outros menos óbvios, toda esta análise vê-se sujeita a uma grande suscetibilidade, tendo ao longo desta análise sido feitos os possíveis para descrever os fenómenos consoante o que se verifica, nunca tendo recorrido a datações, a análises geológicas de pormenor ou quaisquer tecnologias de quantificação. O que se realizou foi uma demarcação de depósitos, explicação dos mesmos, correções à topografia com base em bússola e trabalho de interpretação *in situ*, e muitas horas de interpretação.

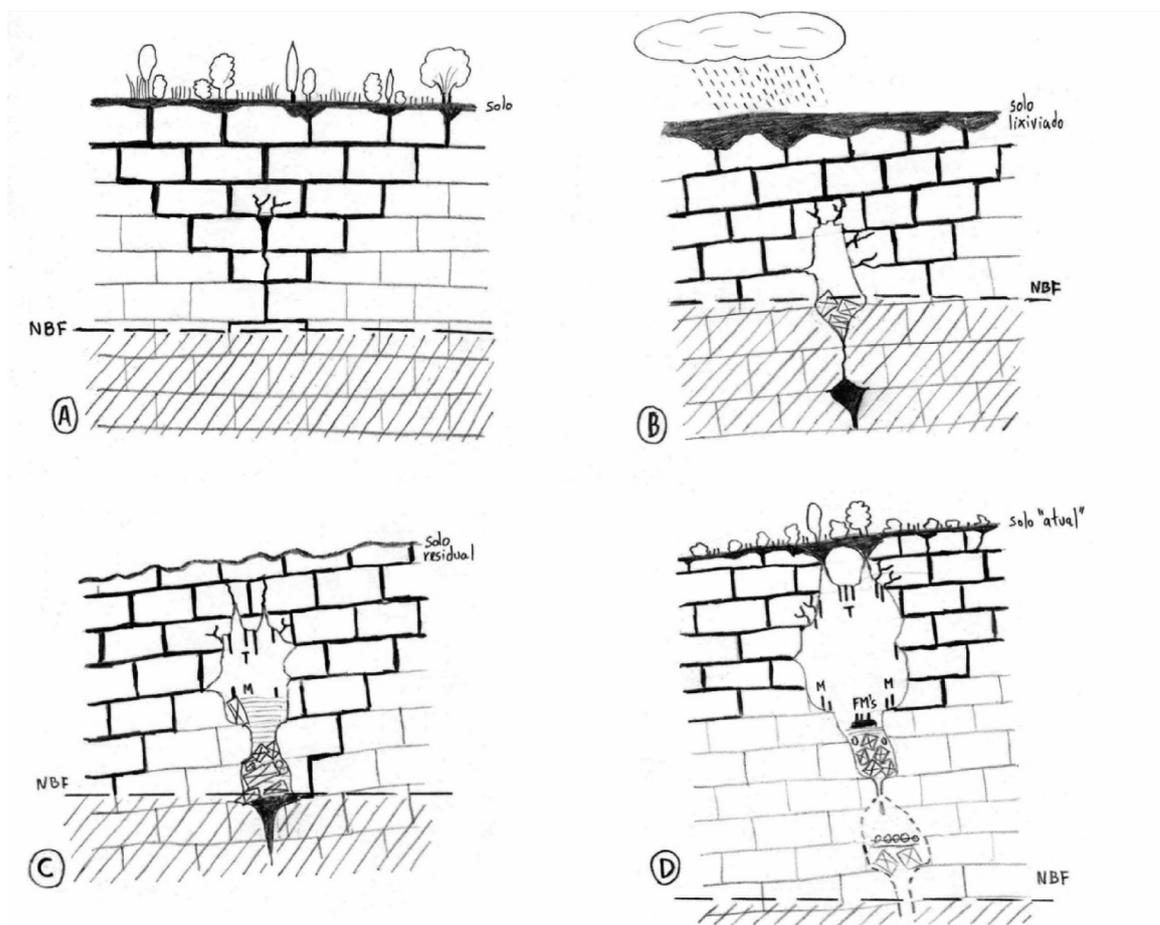
### **3.2. Reconstituição e síntese espeleogenética**

Para a elaboração de uma reconstituição e conseqüente síntese espeleogenética do Algar do Pena, teremos que recuar no tempo até à fase em que a gruta não passaria de pouco mais do que uma simples fissura. Para tal exige que pensemos do geral para o particular, neste caso, da superfície para o interior (figura 60).

Aquando do início da formação do Algar do Pena, à superfície seria espectável uma ligeiramente maior espessura dos calcários, de onde se deu a erosão subsequente, com solos profundos, cobertos de vegetação típica dum modelado cársico e dum ambiente tropical húmido, presumivelmente dos finais do Cretácico ou de inícios do Cenozoico. O resultado deste ambiente climático seria uma constante ação química da água na rocha, abrindo condutas em profundidade; por aproveitamento de alguma fragilidade no maciço rochoso, foi-se alargando uma conduta ou uma rede delas, criando-se um espaço oco, que devido a um nível piezométrico mais elevado, viu-se preenchido de água e continuou a ação química. Com as sucessivas oscilações climáticas e dos correspondentes níveis piezométricos, a água foi escavando o seu domínio e desmembrando a estrutura interna que o jovem espaço em vazio continha, levando em profundidade os materiais desagregados e depositando os maiores onde o caminho em profundidade não lhes permitiu continuidade. Repetindo estes processos, e com uma cada vez maior disponibilidade de recursos materiais, os sucessivos alargamentos das condutas viram-se sucedidos de um abandono da água e teve início a fase vadosa; com a fase vadosa veio o transporte de materiais das mais variadas dimensões em profundidade, escavando-se galerias e cavidades com cada vez maiores diâmetros, deixando à força da gravidade um importante papel nos limites da gruta, que por meio de descompressão levou a numerosos destacamentos

e colapsos. Integrando a tectónica, que não será estranha à evolução da gruta, definem-se deformações estruturais, por onde a já iniciada espeleogénese e sucessivo colmatar dos materiais desagregados definem patamares evolutivos.

Com estes pretextos, define-se toda uma complexa morfogénese, onde os mecanismos atuantes são os mais diversificados e complemento uns dos outros, ou seja, após um colapso, dá-se uma concreção, dessa concreção surgem espeleotemas, com um novo colapso, depositam-se blocos e clastos sobre eles, e novamente se voltam a construir espeleotemas, que por cima de si recebem mais fragmentos doutros espeleotemas, e assim sucessivamente. Referenciando colapsos, podem entrar também nas variáveis os sismos, os arranjos de grandes blocos que cederam por perda de suporte e que alteraram toda uma base de suporte de espeleotemas, etc.



**Figura 60** - Esquematisação da génese de uma gruta, adaptado ao Algar do Pena: A- fase freática e primordial, um pequena cavidade surge por dissolução ao longo duma diáclase ou zona de fragilidade; B- continuação do processo de dissolução, com passagem a circulação vadosa e à sua tona depositando-se os materiais desagregados por gravidade das faces internas da gruta; C- aparecimento dos espeleotemas, continuado de alargamento por descompressão; D- perda do nível de base freático em profundidade, deixando o espaço vazio e sem circulação hídrica entregue aos fenómenos da descompressão e da espeleogénese, lutando por continuar o seu caminho em profundidade (estádio atual).

Como testemunhas das várias fases de acumulação e perda de materiais doutros períodos climáticos dentro da gruta, e onde os níveis de base freática tiveram bastante influência, são as couraças ferruginosas. Estes depósitos correspondem ao acumular de argilas com os mais diversos alteritos derivados da decomposição de matéria orgânica e mineral, que se depositam onde a estabilidade de água o permite. Encontrados em pelo menos quatro lugares distintos do AP, poderão ser indícios de antigos níveis piezométricos, em que a estabilidade e a consequente decantação dos materiais foram importantes. Numa sequência de cima para baixo, traduzem cada um deles os locais em que a ação da água surtiu efeito, isto é, vêm sempre acompanhados de marcas de escoamento de regimes vadosos, depositando-se nas orlas de zonas onde a ação mecânica do escoamento teve efeito. Com o crescente desenvolvimento em profundidade da circulação vadosa, foram deixadas para trás (neste caso, para cima) e continuaram o seu desenvolvimento em profundidade, atendendo que possam ter sido arrastadas mesmo para cotas mais fundas e inatingíveis por fenómenos de destacamento que os libertaram da sua zona de estabilidade. Assim, os depósitos de couraças ferruginosas encontradas são verdadeiros testemunhos paleoambientais e indicadores das várias sequências de formação de toda a cavidade.

Combinando estes fatores com a gravidade e o efeito contínuo de descompressão da gruta, combina-se também a espeleogênese, importante para a definição de zonas de estabilidade ou zonas de instabilidade, quer por meio dos materiais que lhes estão subjacentes como pelo crescente peso que a construção das concreções vai somando, levando a um limiar de perda de suporte, resultando em colapsos, evidenciados muitas vezes pela presença de fendas e de deslocamentos das formas no chão em relação às do teto. Assim se define uma complexa evolução cárstica, onde cada fator individualmente vai ter influência direta sobre os outros, e vice-versa.

Com a conjugação de todos os eventos, o Algar do Pena apresenta-se ao longo dos seus perfis AB e CDE enquanto um espaço bastante amplo, para cuja gênese se conjuga uma série de fatores. Serão tidos em conta segundo uma ordem cronológica, considerando esquema evolutivo da figura 60:

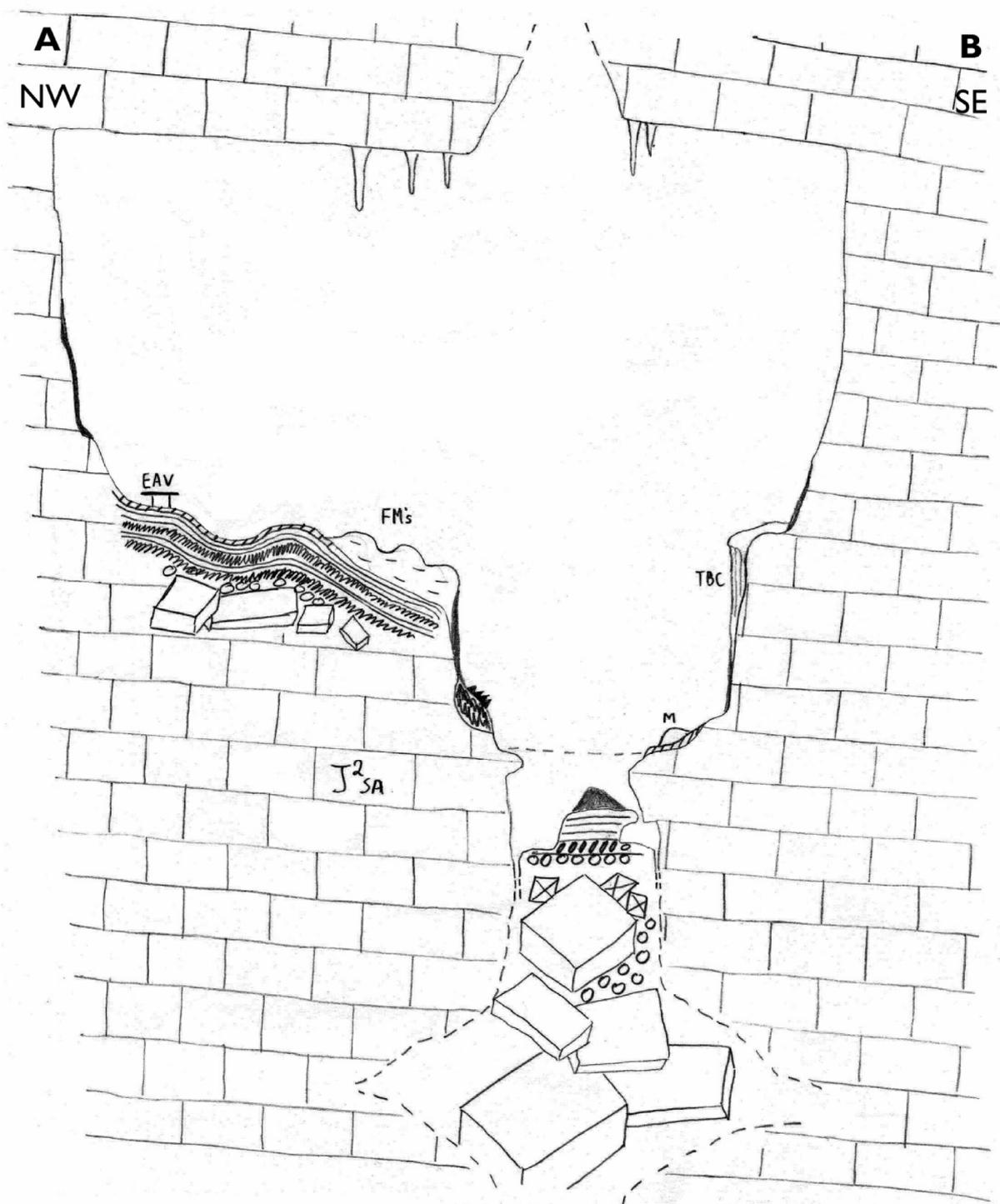
- 1) Após o alargamento da cavidade, o abandono da(s) fase(s) freática(s) e vadosa(s) e os sucessivos colapsos que estão por trás da definição das linhas estruturais, inicia-se ou desenvolve-se a construção dos mais variados depósitos. Começando a se desenvolver mais fortemente nas cotas mais elevadas, começa desde cedo a criar uma rede de concreções no teto que vão influenciar toda a construção de concreções no chão; isto

subentende que o concrecionamento a partir do *input* se faz mais depressa ou mais abundantemente, enquanto no destino do gotejo se faz mais lentamente ou menos eficazmente, pois a água deixou para trás toda uma percentagem de matérias dissolvidas que constroem os ápices das estalactites, e ao seu destino chega com uma percentagem menor de minerais dissolvidos para a concreção, bem como leva a uma perda em profundidade da água, que não deposita eficazmente o conjunto dos carbonatos em dissolução.

- 2) Com o evoluir dos espeleotemas, com os eventos e fenómenos associados à tectónica, com as influências climáticas à superfície e a influência dos mais diversos materiais arrastados em profundidade (essencialmente argilas ou impurezas), definem-se morfologias muito típicas, ocorrendo fases construtivas e destrutivas ao mesmo tempo, assentando sobre a topografia interna da gruta. Pressupondo a situação de inexistência de uma passagem ou continuação em profundidade a partir do setor inferior final, todos estes fluxos encontrar-se-iam no até então setor inferior inicial, proporcionando condições de dissolução bastante ativa do calcário, começando a definir zonas de fragilidade ao longo de fissuras preenchidas por água e argilas, que mais tarde viriam a ser demasiadamente alargadas para levar a um colapso de todo o setor. Isto evidencia-se pela enorme verticalidade que as orlas do setor inferior inicial apresentam face ao encontro com o setor inicial e superior, onde aproveitaram para se formar depósitos estalagmíticos de grandes dimensões.
- 3) O colapso do setor inferior inicial levou em profundidade toda uma panóplia de blocos, a juntar àqueles que sucessivamente acamaram por cima deles, por destacamentos no setor inferior final, prevendo-se um acumular de materiais com umas boas dezenas de metros de espessura. Para montante, e fora do setor inferior (tanto inicial como final), toda a desorganização de blocos e clastos ou de fragmentos de espeleotemas ficou assente num leito de argilas e materiais de reduzida granulometria, envolto numa cobertura estalagmítica que mais tarde viria a deslizar para jusante pelo crescente desenvolvimento e aumento de peso. Dada a constante entrada de água no interior da gruta, com maior ou menor vigor, e independentemente da estação do ano, estão sempre criadas as condições tanto para a sua contínua evolução e, mesmo, pequenos deslizamentos (sempre na ordem da dezena de centímetros, no máximo) do chão concrecionado sobre os materiais plásticos que lhe estão subjacentes, em particular nos setores inicial, intermédio e superior. Sobre este chão concrecionado assentam estalagmites

que irão sofrer dessas influências, constatadas ao longo de toda a análise setorial já feita.

- 4) Com a evolução cárstica, atendendo a uma não quantificação de prévios níveis de base freática que antecederam os episódios anteriores, eis que toda a gruta se apresenta segundo o exemplificado na figura 61: no setor inicial dá-se um crescente acumular de depósitos intercalados entre si com clastos e fragmentos de espeleotemas com argilas e coberturas estalagmíticas, repetindo-se o processo variadas vezes até ao nível da tua escarpa que o limita; do lado oposto, e pertencendo à escarpa concrecionada por uma cascata estalactítica, mais ou menos à mesma cota, o processo seria o mesmo, mas neste caso num espaço muito mais restrito. Dado o espaço amplo que separa ambas as escarpas, será de pressupor aqui uma situação semelhante à do setor inferior inicial, em que por meio de um colapso, a situação estanque que se verificava acabou por desaparecer por via dalgum colapso, dando continuidade em profundidade e descendo ao nível do atual setor inferior inicial. Esta evidência é clara influência da grande chaminé que lhe está sobrejacente.
- 5) Pela análise do perfil AB (figura 61) e vendo duma perspectiva de reconstrução da morfologia de toda a cavidade, a atual cota do setor inferior traduz uma zona de estabilidade prevendo colapso iminente, podendo especular-se acerca de um desarranjo total dos materiais subjacentes e a presença de um espaço vazio inferior, para onde se prevê uma futura continuação em profundidade do setor e a construção de um novo patamar. Este fenómeno apenas será possível caso no setor inferior final se dê um colapso, que a cotas muito mais baixas, formará toda uma descida vertiginosa até ao novo e presumido espaço em vazio.

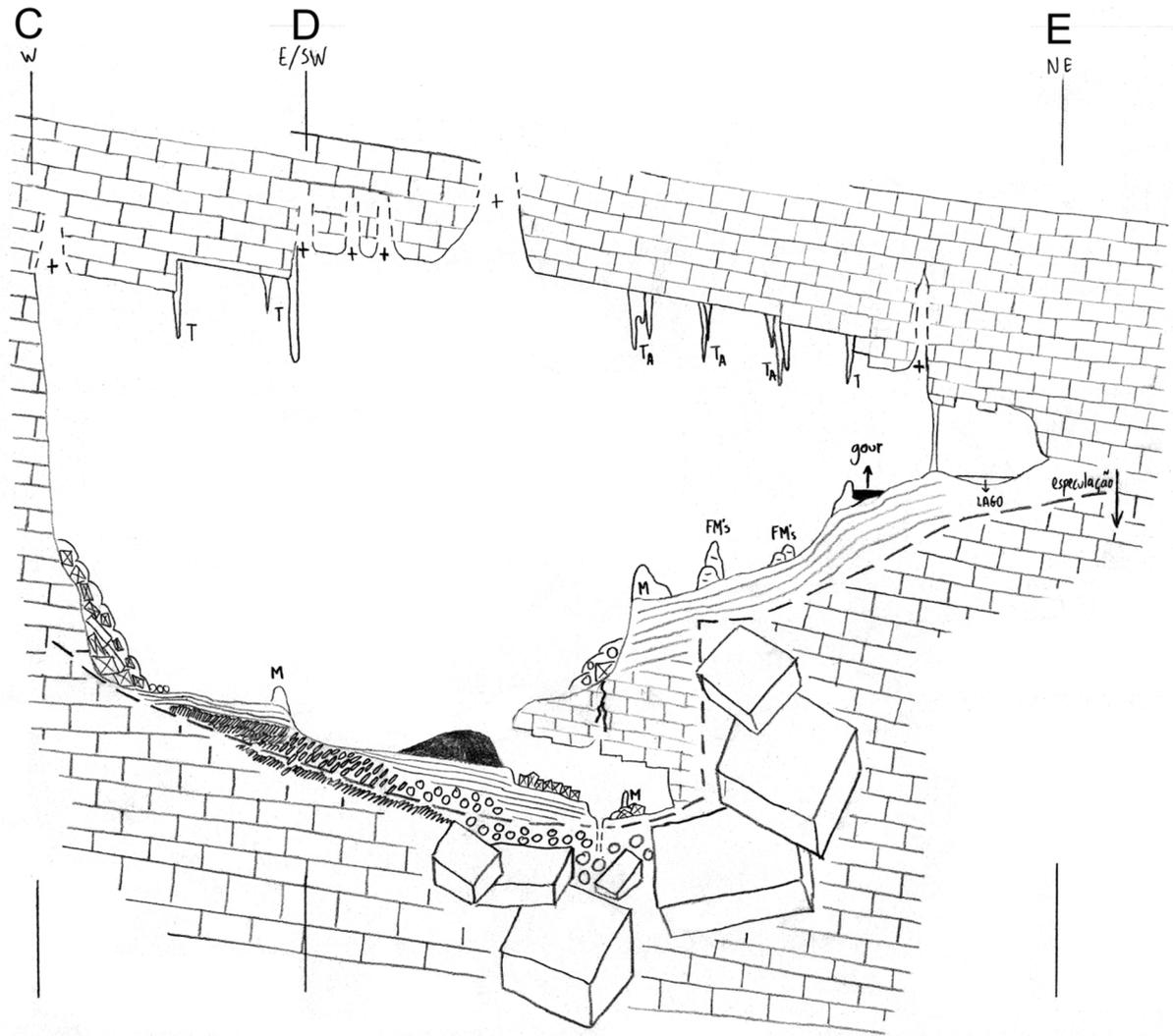


**Figura 61** - Esboço do perfil AB (conforme Anexo II), sem escala. Legenda na página 119.

Perpendicularmente ao perfil AB, o perfil CDE (figura 62) pretende traduzir a mesma perspectiva mas dum outro ponto de vista. Aqui dá-se o enfoque a todos os setores com exceção do inicial, verificando-se que entre C e D todo o setor intermédio se caracteriza por uma situação de deslizamento de materiais provenientes do teto ao longo de uma parede e, pela descompressão que a chaminé adjacente lhe proporciona. Na base, e onde assenta o chão

estalagmítico, é de prever a presença de materiais plásticos responsáveis pelo deslizamento do chão para jusante, verificável nas suas estalagmites. Na passagem para o setor inferior, um vigoroso depósito de crioclastos poderá testemunhar as antigas cotas a que todo o setor intermédio se situava, sendo que as sucessivas colmatações e acréscimo de materiais depositados, depois progressivamente concrecionados, construíram o atual chão, quebrado repentinamente pelo colapso de toda a zona correspondente ao setor inferior inicial. Deste colapso foram postos a nu os crioclastos, posteriormente arrastados e colmatados para jusante. No término desta parte inicial construiu-se, mesmo, um pequeno cone de dejeção por meio de uma grande chaminé, a maior de toda a gruta; para jusante, todo o desarranjo e fendimento do setor inferior final é evidência de uma instabilidade induzida por baixo, e de onde se prevê futura evolução. Avançando para NE, surge outra vez o setor intermédio escarpado para o setor inferior, com uma passagem igualmente escarpada para o setor superior. Este grande declive é influência direta dos alinhamentos ou famílias de estalagmites, que predominam no setor superior para montante, assentes num espesso e bem definido chão estalagmítico, de que todo um aglomerar de grandes blocos, fragmentos de espeleotemas e clastos de rocha sobre o chão estalagmítico são evidência.

É no setor superior que se torna evidente a copiosa facilidade de concrecionamento, evidenciada por todo o setor, sendo que a montante, numa pequena reentrância merecedora duma análise pormenorizada, mais se faz sentir a evolução dos espeleotemas à escala e em pormenor. Aqui, a disposição dos depósitos revela as influências dos materiais escoados pela água ao longo da rocha, constatando-se estalactites encurvadas, concordantes com as respectivas estalagmites, tanto em ápice como em forma, isto é, a forma das estalagmites é reflexo da forma das estalactites; isto evidencia a ausência da tectónica, ao invés duma influência dos materiais escoados pelo teto ao longo dos espeleotemas.

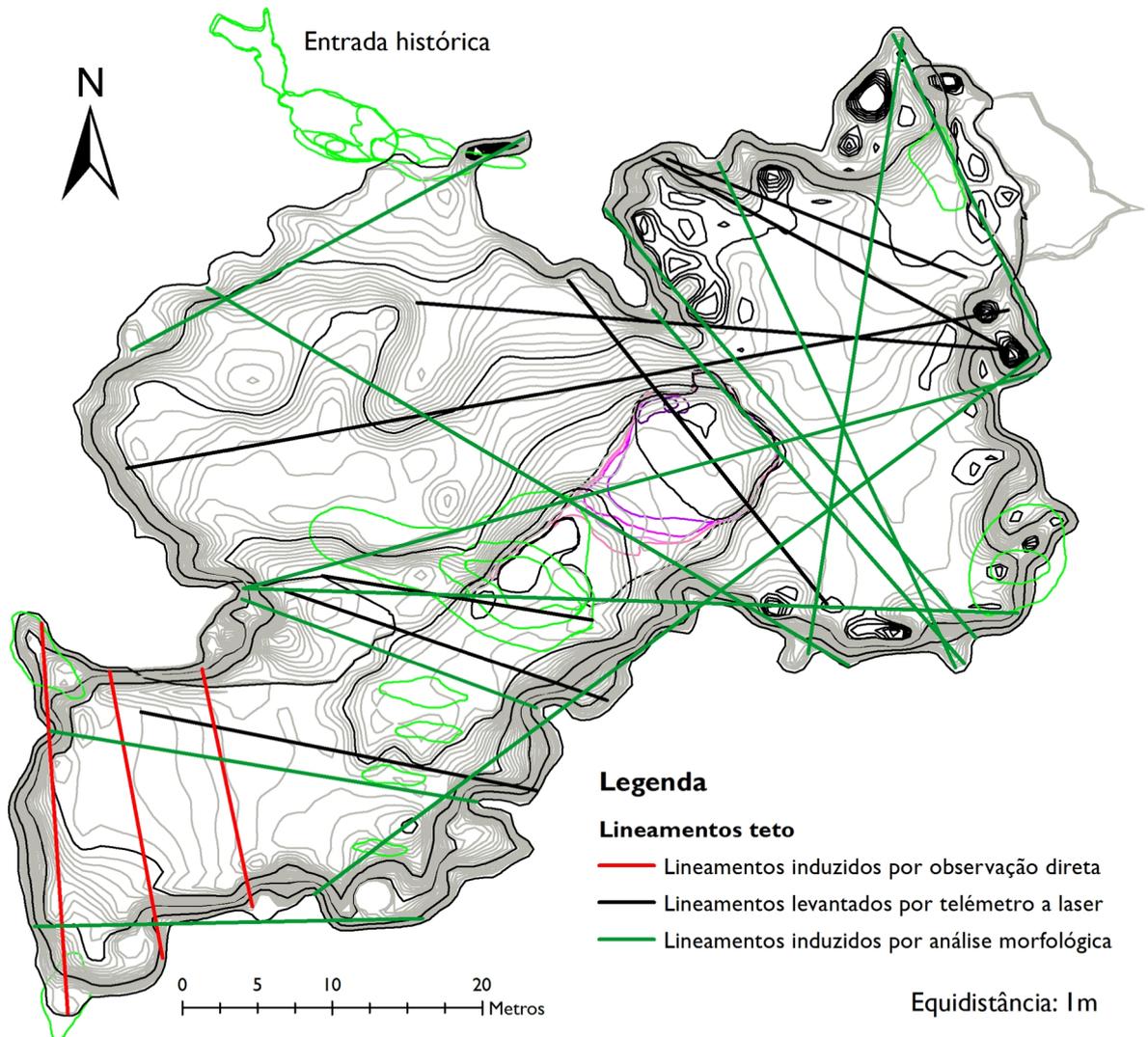


**Figura 62** -Esboço do perfil CDE (conforme Anexo II), sem escala. Legenda na página 119.

Recorrendo a uma análise a uma escala mais ampla, recorreremos aos espeleotemas e aos principais lineamentos estruturais para fazer um reconhecimento das formas encontradas dentro do Algar do Pena. Confrontando as alterações aos eixos nos espeleotemas recolhidos para amostra e os principais lineamentos levantados (figura 63 e 64), encontram-se algumas particularidades que prometem um encaixe à escala local, e sucessivamente à escala regional.

Começando à escala regional, e recordando a análise da família de lineamentos correspondentes ao MCE (Figura 22), dominavam os rumos NW, NNW, NNE e ENE; segundo Carvalho (2013), para os calcários micríticos de Serra de Aire ( $J^2_{SA}$ ), por fotogeologia dominavam as orientações em torno de W-E e de NNE-SSW, e por levantamento de campo dominavam em torno de WNW-ESE, NNE-SSW e N-S (Figura 23). Ora indo de encontro aos levantamentos efetuados dentro da gruta, o encaixe não é aquele que seria desejado, não prevalecendo o rumo NNE-SSW como demonstram os levantamentos realizados para a área de estudo nem os daquele autor. Por outro lado, há um forte encaixe nos rumos WNW-ESE,

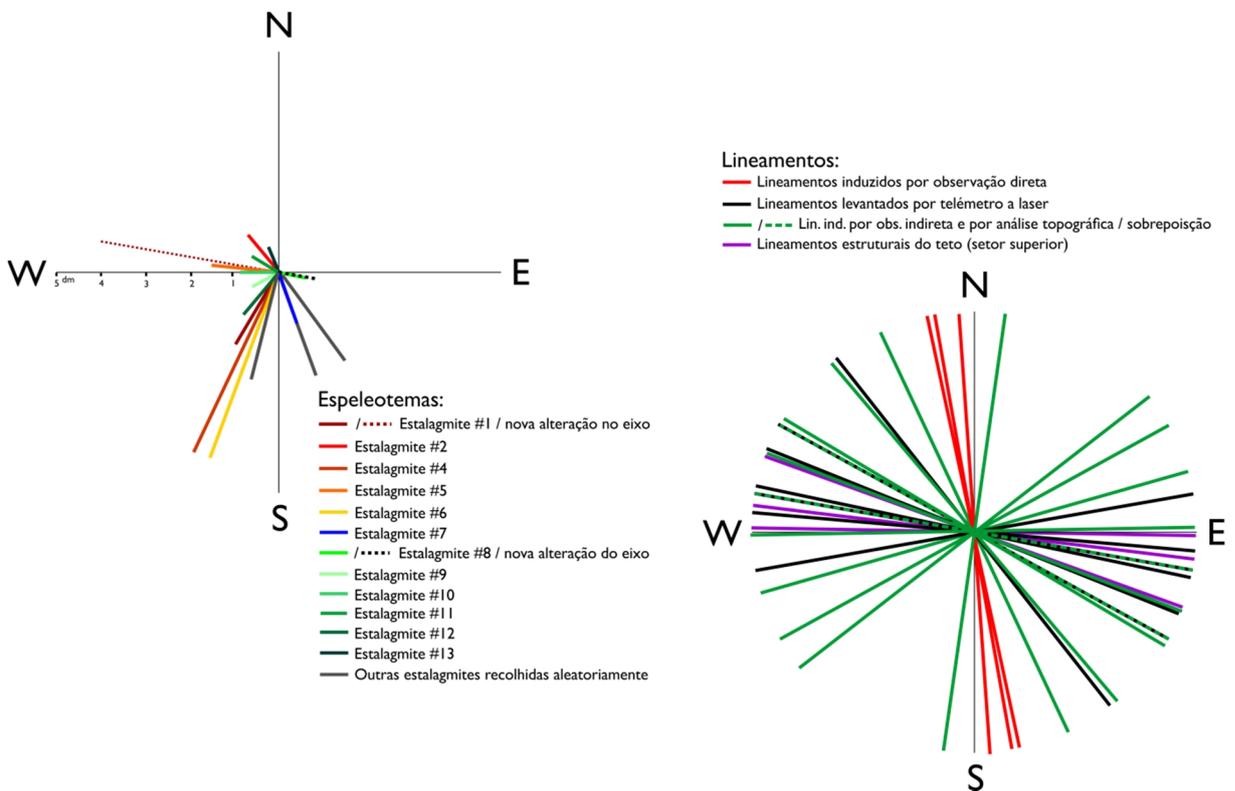
WSW-ENE e em torno de N-S. Isto permite concluir que nesta zona em específico, onde se integra o Algar do Pena, a estrutura geológica local foge à tendência regional, prevalecendo estas orientações como definidoras das grandes linhas estruturais de toda a gruta. No entanto, a principal orientação da gruta ao longo duma orientação NE-SW aparenta ter uma ligação direta com movimentos ou segmentações perpendiculares a uma das principais orientações dos calcários locais, porventura com influência direta à dobra e consequente alteração ao pendor dos calcários, evidenciado nas imediações do CISGAP (figura 26).



**Figura 63** - Planta do AP com a marcação dos principais lineamentos levantados em trabalho de campo.

Passando a uma análise de grande escala, entram os desvios ao eixo de crescimento dos espeleotemas amostrados, verificando-se desde cedo que os maiores desvios não terão influência direta da geologia, nomeadamente das principais direções estruturais, mas sim de ações locais dentro da cavidade, como as deslocações dos chãos estalagmíticos por deslizamento.

Constata-se que de facto as estalagmites não terão a influência esperada como indica a disposição local e regional dos principais lineamentos estruturais, tendo uma ligeira correspondência com os lineamentos estruturais no interior do Algar do Pena, revelando-se a amostra recolhida pouco expressiva. Porventura, com um levantamento pormenorizado e exaustivo de todo o diaclasamento no teto da gruta, seria possível tirar-se outras conclusões, deixando em aberto esse tipo de análise para trabalhos futuros. Deixa-se, para já, a noção de que o Algar do Pena se apresenta como um caso isolado da tendência tectónica regional, o que nos parece terminar este trabalho com mais perguntas do que respostas.



**Figura 64** - Rosetas das orientações dos levantamentos efetuados dentro do AP: espeleotemas amostrados, e alinhamentos levantados, representados na figura 68.

## Conclusão

O Algar do Pena apresenta-se como uma gruta fóssil de vigorosa complexidade. Enquadrando-se nos calcários micríticos de Serra de Aire ( $J_{SA}^2$ ), os principais alinhamentos tectónicos seriam, de acordo com Carvalho (2013) em torno das direções W-E, NE-SW e WNW-ESE, o que de facto se verifica. No entanto, a ampla sala delimitada essencialmente de orientação NW-SE, apresenta orientações secundárias no sentido N-S e NW-SE em todos os seus setores. Estas orientações secundárias vêm a confirmar-se parcialmente na amostra de espeleotemas levantados, à exceção daqueles descritos como fruto do escorregamento do chão estalagmítico (setor intermédio), e nos alinhamentos do teto, essencialmente nos correspondentes às principais chaminés. Deixa-nos, no entanto, a dúvida se a amostra de estalagmites analisada terá sido a melhor para comprovar esta particularidade, podendo-nos ter servido melhor uma marcação ao pormenor das fraturas e diáclases verificadas no teto.

Não obstante, pelo que se confirma no chão leva-nos a concluir que as deformações se devem a questões estruturais derivadas da descompressão da cavidade. Pelo tipo de depósitos encontrados, a reconstituição paleoambiental que se pode realizar é que a gruta se pode ter começado a desenvolver nos finais do Cretácico ou nos inícios do Cenozoico, quando a gruta do Algar do Pena não seria pouco mais que uma fenda em regime freático, apontando-se as duas hipóteses pelas seguintes razões: no Cretácico, a fase de grande arrasamento, mostra que os calcários ficaram expostos e começaram a ser erodidos, como comprova a deposição de arenitos do cretácico, que ocupam as cotas mais deprimidas e as orlas do MCE; ou na primeira metade do Cenozoico, em que a generalidade do MCE não estaria tão soerguido como atualmente, mas tinha já uma definição próxima da actual.

Com início do desenvolvimento espeleogenético, deixou-se a até então fase vadosa com sucessivos encaixes da sua estrutura interna, até que a circulação de água se tenha perdido em profundidade, fase que deverá remontar ao Pliocénico final ou mesmo já ao início do Quaternário, altura em que o MCE foi soerguido de vez. Pela dimensão dos espeleotemas, a presença de crioclastos e outros tipos de depósitos, a fase de desenvolvimento dos atuais espeleotemas deve corresponder essencialmente ao Quaternário, que se pode apontar mais certamente aos tempos da última ou penúltima glaciação. Esta evidência verifica-se muito especialmente pelas várias fases de construção dos chãos estalagmíticos, interestratificados com escombrecas e crioclastos, o que não é seguro sem aplicação de métodos de datação absoluta.

No entanto, cooperámos na recolha de materiais para datações isotópicas para outros estudos, embora ainda não haja resultados ou quaisquer conclusões.

Apontam-se importantes deslizamentos no interior do Algar do Pena, principais definidores da morfologia das estalagmites aparentemente mais recentes. No entanto, evidencia-se em toda a gruta uma série de fendas e fraturas paralelas ao sentido do seu deslocamento, com tendência a confluir para o setor inferior. Deverão corresponder, também, a diferentes fases, pois como se constata no setor intermédio e superior, os vários desabamentos que lhes dão forma e origem veem-se cobertos por densos mantos estalagmíticos das mais diferentes idades, como se deduz da maior ou menor espessura da cobertura ou do maior ou menor desenvolvimento das estalagmites. Estas deslocações podem ter sido afetadas por fenómenos sísmicos recentes, como meio de aceleração do processo de deslizamento, em particular no setor inicial e intermédio, onde as fendas se encontram parcialmente cimentadas; no setor inferior comprova-se precisamente isso, pelas longas e largas fraturas nas suas orlas, nuas e sem preenchimento, o que pode traduzir uma tectónica posterior a outro qualquer evento que tenha permitido a abertura para a fase final deste setor, e onde acumulou todo o caos de materiais fracamente concrecionados. Conjuntamente com estes eventos, todo o alargamento da gruta, destacamento de blocos do teto e definição da topografia andaram a par, sendo fenómenos mecânicos que se complementam pelos de origem química, e vice-versa, repetindo-se, assim, sucessivamente.

Em consideração final, para melhor estudo e compreensão detalhada do Algar do Pena, deixamos algumas sugestões, entre as quais se destacam a já datação absoluta dos depósitos (em progresso), seguida do recurso às novas tecnologias, nomeadamente o uso de *laser scanner* para construção dum modelo tridimensional e localização precisa dos principais espeleotemas. Recomenda-se, também, uma reconstrução da topografia geral da gruta, até agora bastante incipiente, que poderá ser ajustada de acordo com o levantamento *por laser scanner*.

Este trabalho apresenta-se, de certo modo, como um trabalho pioneiro e inovador nesta temática, em particular em Portugal, pelo que muitas críticas lhe poderão ser apontadas, deixando, no entanto, as portas abertas para aperfeiçoamentos futuros, e um guia para trabalhos dentro do assunto.

## Bibliografia

- Allison, V. C. (1923). The growth of stalagmites and stalactites. *Journal of Geology*, 31, pp. 106-125.
- Almeida, C., Silva, M. L., & Crispim, J. A. (1995). National Report for Portugal. *Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas*, pp. 211-220.
- Azerêdo, A. C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas*, 94, pp. 29-51.
- Bradley, R. S. (2014). *Paleoclimatology: reconstructing climates of the Quaternary* (3rd ed.). Amherst, Massachusetts, USA: Elsevier.
- Carvalho, A. G. (1969). Contribuição para o conhecimento geológico da bacia terciária do Tejo. *Serviço Geológico de Portugal, Memória n° 15*, p. 210.
- Carvalho, J. M. (2013). *Tectónica e caracterização da fraturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica: Contributo para a prospeção de rochas ornamentais e ordenamento da atividade extrativa. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa*. Lisboa.
- Carvalho, J. M., Midões, C., Machado, S., Sampaio, J., Costa, A., & Lisboa, V. (2011). *Maciço Calcário Estremenho - Caracterização da Situação de Referência (relatório interno)*. LNEG.
- Christopherson, R. W. (2011). *Geosystems* (8th ed.). EUA: Prentice Hall.
- Coelho, R. J. (2002). *Aspectos geológicos do Parque Natural das Serra de Aire e Candeeiros e sua divulgação multimédia - um contributo para o ensino das Ciências da Terra*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Crispim, J. A. (1985). *Símbolos convencionais para utilização em topografia espeleológica - Publicação Especial n° 7*. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Espeleologia.
- Crispim, J. A. (1995). *Dinâmica cársica e implicações ambientais nas depressões de Alvados e Minde. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa*. Lisboa.
- Crispim, J. A. (1997). *Estudo Carsológico do Algar do Peno*. Lisboa: Centro de Espeleologia da Universidade de Lisboa / Parque Natural da Serra de Aire e Candeeiros.
- Crispim, J. A. (1999). Seismotectonic versus man-induced morphological changes in a cave on the Arrábida chain (Portugal). *Geodinamica Acta*, 12, 3-4, pp. 135-142.
- Cunha, L. (1990). *As Serras Calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere*. Coimbra: Instituto Nacional de Investigação Científica.
- Cunha, M. A. (2013). *Modelação Gravimétrica e Estrutural do Diapiro de Soure. Dissertação de Mestrado em Geociências (especialização em Recursos Geológicos) apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra*. Coimbra.

- Curl, R. L. (1972). Minimum Diameter Stalactites. *Bulletin of the National Speleological Society*, 34, pp. 129-136.
- Curl, R. L. (1973). Minimum Diameter Stalagmites. *Bulletin of the National Speleological Society*, 35, pp. 1-9.
- Daveau, S. (1973). Quelques exemples d'évolution quaternaire des versants au Portugal. *Finisterra*, 15, pp. 5-47.
- Daveau, S. (2005). *Portugal Geográfico* (4ª ed.). Lisboa: Edições João Sá da Costa, Lda.
- Delannoy, J.-J., Perrette, Y., Debard, E., Ferrier, C., Kervazo, B., Perroux, A.-S., . . . Quinif, Y. (2004). Interêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale: la grotte Chauvet (Ardèche - France). *Karstologia*, 44, pp. 25-42.
- Dreybrodt, W. (1980). Deposition of calcite from thin films of calcareous solutions and the growth of speleothems. *Chemical Geology*, 29, pp. 89-105.
- Fairchild, I. J., & Baker, A. (2012). *Speleothem Science - From Process to Past Environments*. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- Ferreira, A. d. (2005). Formas do relevo e dinâmicas geomorfológicas. Em C. A. Medeiros, *Geografia de Portugal - O ambiente físico* (Vol. I, pp. 54 - 255). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Ferreira, A. d., Rodrigues, M. L., & Zêzere, J. L. (1988). Problemas da Evolução Geomorfológica do Maciço Calcário Estremenho. *Finisterra*, XXIII, 45, pp. 5-28.
- Fleury, E. (1915). Sur la morphologie du massif de Porto-de-Moz. *Comunicações do Serviço Geológico de Portugal*, XI.
- Fleury, E. (1917). Notes sur l'érosion en Portugal: II - Les lapiés des calcaires au Nord du Tage. *Comunicações da Comissão do Serviço Geológico de Portugal*, XII.
- Fleury, E. (1925). *Portugal Subterrâneo - Ensaio de Espeleologia Portuguesa*. «Coleção Natura». Lisboa.
- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Forti, P., & Postpischl, D. (1984). Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. *Marine Geology*, 55, pp. 145-161.
- Gams, I. (1981). Contribution to morphometrics of stalagmite. *Proceedings of the 8th International Congress of Speleology*, pp. 276-278.

- Gomes, A. A. (2008). *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda - dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Univerdade do Porto*. Porto.
- Goodchild, M. F., & Williams, D. C. (1971). Analysis of scallop patterns by simulation under controled conditions. *Journal of Geology*, 79, pp. 52-62.
- Gourdon-Platel, N., & Dubreuilh, J. (1992). Les ferruginisations et les argiles associees au paleokarst tertiaire du Perigord (Dordogne, France). Em R. Maire, & J. N. Salomon, *Karst et Évolutions Climatiques: Hommage à Jean Nicod* (pp. 449-460). Talence, Bordeaux: Presses Universitaires de Bordeaux.
- Hanks, R. R. (2011). *Encyclopedia of Geography Terms, Themes, and Concepts*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO.
- Iurilli, V. (2007). Le forme carsiche ipogee come archivi di dati tettonici e sismici a piccola scala. *Dottorato di ricerca in Geomorfologia e Dinamica Ambientale*. Bari, Itália: Università Degli Studi di Bari.
- Iurilli, V., Cacciapaglia, G., Selleri, G., Palmentola, G., & Mastronuzzi, G. (2009). Karst Morphogenesis and Tectonics in South-Eastern Murge (Apulia, Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 32, pp. 145-155.
- Kagan, E. J., Agnon, A., Bar-Matthews, M., & Ayalon, A. (Abril de 2005). Dating large infrequent earthquakes by damaged cave deposits. *Geology*, 33, n° 4, pp. 261-264.
- Kim, Y.-S., & Sanderson, D. J. (2010). Inferred fluid flow through fault damage zones based on the observation of stalactites in carbonate caves. *Journal of Structural Geology*, 32, pp. 1305-1316.
- Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N., & Dreybrodt, W. (2000). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, USA: National Speleological Society, Inc.
- Knez, M. (1998). The influence of bedding planes on the development of karst caves (a study of Velika Dolina at Skocjanske Jame Caves, Slovenia). *Carbonates & Evaporites*, 3, n°2, pp. 121-131.
- Kulberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., & Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Em R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. C. Kulberg, *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 317-368). Univ. Évora.
- Leal, C. (2014). *A Escarpa dos Arrifes do Maciço Calcário Estremenho - proposta de classificação a Património Geomorfológico*. *Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Ambiente e*

- Ordenamento do Território apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.*  
Coimbra.
- Leal, C., & Cunha, L. (Fevereiro de 2014). Proposta de classificação da escarpa dos arrifes do maciço calcário estremenho (portugal central) como património geomorfológico. Inventariação e caracterização dos valores patrimoniais. *Atas / Proceedings I Encontro Luso-Brasileiro de Património Geomorfológico e Geoconservação*, pp. 55-61.
- Lladó, N. L. (1970). *Fundamentos de Hidrogeologia Carstica: introducción a la Geoespeleología* (Vol. XII). Madrid: Blume.
- Lopes, P. S. (2008). *Avaliação Regional da Suscetibilidade a Deslizamentos no concelho de Santarém - tese de Mestrado em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, apresentada à Universidade de Lisboa.* Lisboa.
- Manuppella, G., Antunes, M. T., Almeida, C. A., Azerêdo, A. C., Barbosa, B., Cardoso, J. L., . . . Terrinha, P. (2000). *Notícia explicativa da folha 27-A, Vila Nova de Ourém.* Lisboa: Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Machado, S., Carvalho, J., & Bartolomeu, A. (1988). Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50.000 - Folha 27-A (Vila Nova de Ourém). Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Machado, S., Carvalho, J., & Bartolomeu, A. (1999). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000 - Folha 27-C (Torres Novas). 2ª Edição. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia.
- Martins, A. F. (1949). *Maciço Calcário Estremenho - Contribuição para um estudo de Geografia Física.* Coimbra: Imprensa de Coimbra.
- Medeiros, C. A. (2009). *Geografia de Portugal - Ambiente Natural e Ocupação Humana, uma introdução* (6.ª ed.). Lisboa: Editorial Estampa.
- Moore, W. (1949). *A Dictionary of Geography - definitions and explanations of terms used in Physical Geography.* Harmondsworth, Middlesex: Penguin Books.
- Nicod, J. (2003). A Little Contribution to the Karst Terminology: Special or Aberrant Cases of Poljes? *Acta Carsologica*, 32/2, pp. 29-39.
- Pierre, B. (1949). Les Surfaces d'érosion du Portugal Central et Septentrional. *Congrès International de Géographie, Lisbonne*, (p. 96). Louvain.
- Quinif, Y. (1996). Enregistrement et datation des effets sismo-tectoniques par l'étude des speleothemes. *Annales de la Société géologique de Belgique*, vol. 119, fasc. 1, pp. 1-13.

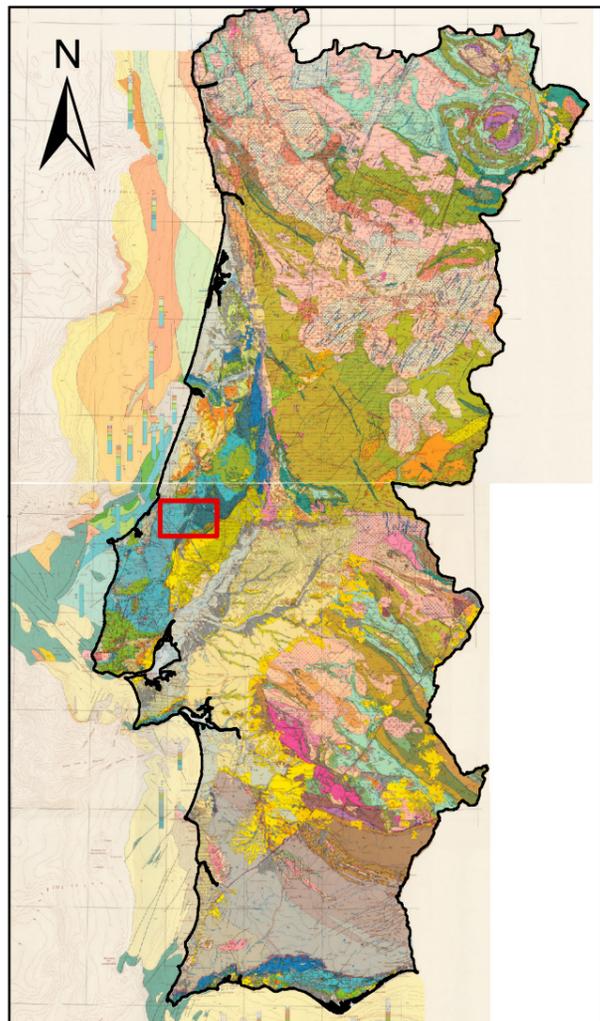
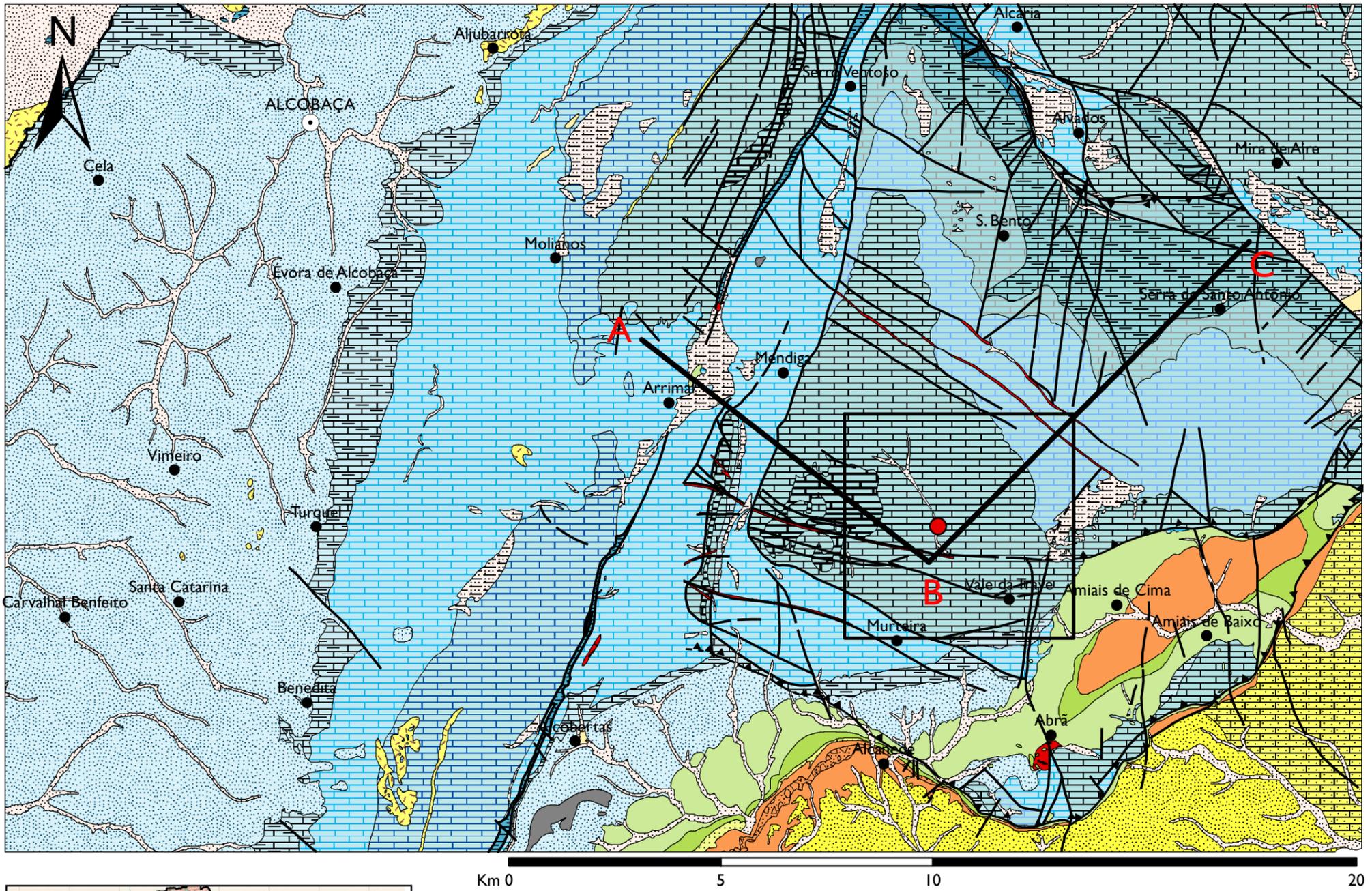
- Read, H. H. (1976). *Geologia - uma introdução à História da Terra* (2ª ed.). Mira-Sintra: Publicações Europa-América.
- Rebelo, F., & Cunha, L. (1992). *Relevo de Portugal. Portugal Moderno*. Ed. Pomo.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Almeida, F. M., . . . Monteiro, J. H. (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serviço Geológico de Portugal*, p. 114.
- Ribeiro, O. (2011). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico* (8.ª ed.). Lisboa: Letra Livre.
- Rodrigues, M. (1991). Depósitos e evolução quaternária das vertentes nas depressões de Minde e de Alvalade (Maciço Calcário Estremenho, Portugal). *Finisterra*, XXVI, nº 51.
- Rodrigues, M. E. (1988). *As Depressões de Minde e de Alvalade. Depósitos e Evolução Quaternária das Vertentes. Estudo de Geomorfologia. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*. Lisboa.
- Rodrigues, M. E. (1998). *Evolução Geomorfológica Quaternária e Dinâmica Actual. Aplicações ao Ordenamento do Território. Exemplos no Maciço Calcário Estremenho. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*. Lisboa.
- Rodrigues, M., Cunha, L., Ramos, C., Pereira, A. R., Teles, V., & Dimuccio, L. (2007). *Glossário Ilustrado de Termos Cársicos*. Lisboa: Edições Colibri.
- Salomon, J.-N. (2006). *Précis de Karstologie* (2.ème ed.). Presses Universitaires de Bordeaux.
- Šebela, S. (2008). Broken Speleothems as Indicators of Tectonic Movements. *Acta Carsologica*, 37/1, pp. 51-62.
- Shtober-Zisu, N., Schwarcz, H. P., Chow, T., Omelon, C. R., & Southam, G. (September de 2014). Caves in caves: evolution of post-depositional macroholes in stalagmites. *International Journal of Speleology*, 43 (3), pp. 323-334.
- Teixeira, C., & Zbyszewski, G. (1968). *Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50 000, Notícia Explicativa da Folha 23-C, Leiria*. Lisboa: Serviço Geológico de Portugal.
- Trudgill, S. (1985). *Geomorphology Texts - Limestone geomorphology* (Vol. 8). EUA: Longman Group Ltd.
- União Internacional de Espeleologia*. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2015, de Cave Symbols: The Official UIS List: <http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/>
- White, W. B. (1976). Cave minerals and speleothems. *The Science of Speleology*, pp. 267-327.
- Zbyszewski, G. (1949). Contribution à la connaissance du Pliocène portugais. *Comissão do Serviço Geológico de Portugal*, XXX, pp. 59-78.

- Zbyszewski, G., & de Matos, R. (1959). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000 - Folha 26-D (Caldas da Rainha). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., França, J. C., & Ferreira, O. V. (1961). Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50.000 - Folha 26-B (Alcobaça). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., Manuppella, G., & Ferreira, O. (1971). *Notícia explicativa da folha 27-C, Torres Novas*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

# **Anexos**

Anexo I – Carta geológica correspondente à área de estudo

Anexo II – Esboço geomorfológico do Algar do Pena

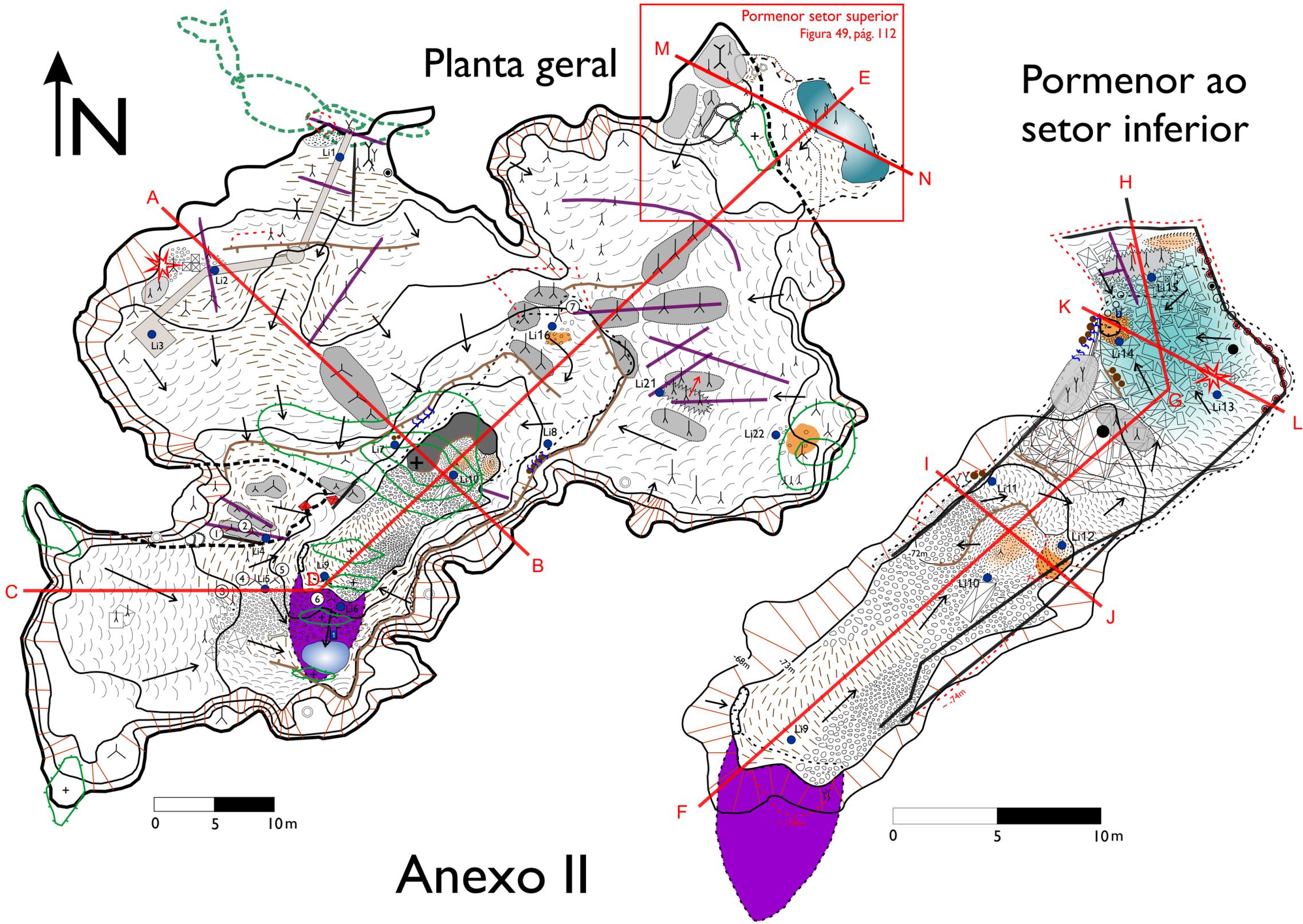


### Legenda

- Localização CISGAP
- Fraturação**
- Falha
- ▲— Cavalgamento
- - - Falha provável
- - - Falha oculta
- Enquadramento CISGAP

<b>Cenozóico</b>	<b>Quaternário</b>	<b>Holocénico</b>		Aluvião
		<b>Plistocénico</b>		Formações detriticas e terra rossa do Maciço Calcário Estremenho
				Tufo calcários
		<b>Miocénico</b>		Depósitos de terraços
			Arenitos de Assentiz e de Batalha	
			Calcários de Santarém e Almóster	
	<b>Paleogénico</b>		Arenitos de Ota	
			Calcários de Alcanede	
	<b>Mesozóico</b>	<b>Cretácico</b>		Formações detriticas indiferenciadas com ou sem intercalações
			<b>Maastrichiano</b>	
<b>Cenomaniano</b>				Calcários margosos de Ourém e da Batalha
<b>Jurássico</b>		<b>Albiano</b>		Arenitos de Amiais
		<b>Titoniano</b>		Arenitos e argilas do Bombarral
		<b>Kimmeridgiano</b>		Camadas de Alcobaca
		<b>Oxfordiano</b>		Calcários, margas e congl. de Cabaços e Montejunto
		<b>Caloviano</b>		Calcários de Moleanos
		<b>Batoniano</b>		Calcários micríticos de Serra de Aire
				Calcários de Pé da Pedreira
				Calcários bioclásticos de Codaçal
		<b>Bajociano</b>		Dolomitos de Furadouro
				Calcários de Chão das Pias
		<b>Aaleniano</b>		Margas e calcários margosos de Zambujal
<b>Jurássico Médio Indif.</b>			Calcários margosos e margas da Fórnea	
<b>Hettangiano</b>			Margas de Dagorda	
<b>Filões e massas</b>				Doleritos
				Basaltos
				Brechas vulcánicas

## Anexo I



# Anexo II

## Delimitações:

- Entrada histórica
- Cota superior / limite máximo das paredes
- Contorno de teto
- Curvas de nível mais significativas
- Limite inferior de reentrâncias
- Curvas de nível ocultas
- Correções à topografia (dimensões presumidas)
- Chaminés

## Contexto topográfico e/ou lito-estrutural:

- Quebra de declive (escarpa ou degrau)
- Abismo ou perda (não explorado)
- Continuação não acessível
- Alinhamentos de estalactites por influência litológica
- Fendas e fraturas no chão estalagmítico
- Seta de gradiente

## Hidrologia:

- Vestígios de escoamento nas paredes
- Lago ou charco

## Depósitos detríticos:

- Depósito de argila
- Cone de dejeção
- Cone de dejeção consolidado por cobertura estalagmítica
- Fragmentos de espeleotemas e clastos de rocha
- Blocos ou clastos de grandes dimensões
- Depósito de crioclastos

## Depósitos litoquímicos:

- Estalactites
- Aglomerado ou família de estalactites
- Estalactite quebrada e posteriormente cimentada
- Estalactites excêntricas
- Aglomerado de estalactites excêntricas sem azimutes de excentricidade regulares
- Estalactites em cortina ou bandeira
- Estalagmites
- Aglomerado ou família de estalagmites
- Família de estalagmites tombada (seta indica a orientação da queda)
- Colunas
- Estalactite e estalagmite coincidentes
- Estalactite e estalagmite coincidentes quebradas por influência estrutural
- Diques calcíticos ou gours
- Paredes (sub)verticais concrecionadas
- Manto de calcite (setor superior)
- Cobertura de cristais de calcite (setor inferior)
- Chão estalagmítico
- Blocos e clastos envolvidos em cobertura estalagmítica
- Couraças ferruginosas

## Indícios antrópicos e pré-históricos:

- Ossadas (animais)
- Colapso de blocos
- Bloco deslocado aquando das obras de construção das EAV
- Estruturas de apoio a visitantes

## Outra simbologia:

- Passagem para o setor inferior da gruta
- Locais de interesse para o estudo
- Estalagmites quantificadas
- Balde de recolha de água