



SUBSIDÊNCIAS NA MINA DO ESPADANAL EM RIO MAIOR

Ricardo Nuno Bento do Rosário

MESTRADO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Leiria, março de 2019



SUBSIDÊNCIAS NA MINA DO ESPADANAL EM RIO MAIOR

Ricardo Nuno Bento do Rosário

Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil

Construções Civas

Orientadora: Professora Doutora Anabela Quintela
Nunes Veiga

Coorientador: Professor Doutor Mário de Oliveira Quinta
Ferreira

Leiria, março de 2019

À minha mulher, e ao meu filho

*“Que a nossa preocupação antecipada,
se torne reflexão e planeamento adiantados.”*

Winston Churchill

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Anabela Quintela Nunes Veiga, pela ajuda à escolha do tema desta dissertação assim como o seu total apoio, ajuda e orientação à sua realização.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Mário de Oliveira Quinta Ferreira (FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra), cujo apoio nas questões técnicas, essencialmente na aplicação de prospeção com recurso a Georadar ao Caso de Estudo, se revelou de elevada importância.

À Câmara Municipal de Rio Maior, na pessoa da presidente, Dra. Isaura Maria Elias Crisóstomo Bernardino Morais, por todo o apoio e pela disponibilização de documentação.

Ao LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), na pessoa da Dra. Ana Paula Candeias Santos Dias, pelo apoio e pela disponibilização de documentação relativa ao complexo mineiro do Espadanal, sem a qual esta dissertação teria sido impossível.

Ao Arq.to Nuno Rocha, pela cedência de documentação propriedade da EICEL 1920 e pela informação prestada, fruto do seu vasto conhecimento acerca do complexo mineiro.

Ao Sr. Armando Cruz, pelo seu apoio técnico na gestão de elementos cartográficos e topográficos.

Ao Sr. Marcelino Pedro Machado, pela sua constante disponibilidade em facultar o seu testemunho pessoal, enquanto antigo trabalhador na mina do Espadanal.

Resumo

O património Industrial mineiro, que outrora representou um marco de desenvolvimento económico no nosso país, está hoje abandonado e esquecido e as suas estruturas sujeitas a uma progressiva degradação, causada pelo abandono das explorações e pela inatividade da indústria extrativa de minérios. Com o passar do tempo, essa degradação que ocorre no subsolo é uma preocupação para o meio urbano e para a segurança de pessoas e propriedades, na superfície.

A presente dissertação desenvolve-se em torno da problemática que representa a subsidência do solo em zonas abrangidas pela ocupação com galerias subterrâneas de lavra inativas para extração de lenhite, do couto mineiro do Espadanal, em Rio Maior.

Em termos gerais, procede-se à definição e caracterização da subsidência do solo, enquanto fenómeno decorrente do impacto da exploração mineira, abordando-se a sua forma de ocorrência e desenvolvimento, riscos e possíveis danos, bem como a forma de proceder à sua classificação.

Foram feitos levantamentos dos danos em edifícios e das subsidências existentes à superfície, caracterizando-os e sobrepondo-os à planta existente das galerias da mina.

Para o registo dos mesmos, foram criadas fichas para levantamento e caracterização de patologias em edifícios, solos e infraestruturas, que levem à existência de uma base de dados, que permita, por um lado a monitorização de situações existentes, e por outro o planeamento de ações proativas, face a possíveis situações de risco.

Com o intuito de fazer uma avaliação do estado das galerias mais superficiais e do solo sobrejacente às mesmas, foi feita uma campanha de prospeção geofísica, com recurso a Georadar e a análise dos radargramas resultantes. A recolha de informação técnica, registos de campo e testemunhos pessoais, permitiram fazer uma análise acerca do historial das principais ocorrências, apresentar medidas de redução de risco e analisar outras ameaças.

Palavras chave: Subsidência, galerias, lenhite, salas e pilares, long-wall

Abstract

The industrial mining heritage, which once represented a basis of economic development in our country, is nowadays forgotten and its structures have been gradually degraded by the development of exploitation and innovation in the mineral extractive industry. As time passes, this degradation that occurs underground is a concern for the urban environment and for safety of people and property, in the surface.

The present dissertation develops around the problematic that represents a subsidence of the ground, in the middle of the covered races, with the external areas of extraction of lenhite, of the mining municipality of the Espadanal, in Rio Maior.

Generally, soil subsidence was defined and characterized, at the same time as it suffered diversions from mining, addressing its nature of risk, risks and losses, as well as how to qualify.

Damage surveys were carried out on buildings and existing subsidence on the surface, characterizing them and overlapping them with the existing mine galleries.

The rules for surveying and characterizing in buildings, soils and infrastructures that lead to the existence of a database can be obtained through a set of existing records and another action plan proactive, in face of risk situations.

With the purpose of evaluating the state of the most superficial galleries and of the overlying soil, a survey campaign was carried out using Ground Penetration Radar (GPR) and the analysis of the resulting radargrams. The collection of technical information, field records and personal experiences, allowing doing the analysis of the history of events, the presentation of risk reduction measures and the risk of other threats.

Keywords: Subsidence, galleries, lignite, rooms and pillars, long-wall

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vi
1. Introdução	1
2. Objetivos	3
3. Metodologia	5
4. Estado da Questão - Subsidiências em minas abandonadas.....	7
5. O fenómeno da subsidência mineira	8
5.1 Definição e caracterização.....	8
5.2 Ocorrência e desenvolvimento	11
5.3 Determinação da área de subsidência	17
5.4 Classificação de danos	21
5.5 A subsidência em zonas mineiras	24
5.5.1. No mundo.....	24
5.5.2 Em Portugal	29
5.5.3 Em Rio Maior	32
5.4 Técnicas de investigação da subsidência mineira	36
5.4.1 Levantamentos topográficos	36
5.4.2 Deteção remota a partir de imagens de satélite	36
5.4.3 Geofísica – georradar	38
6. Caso de Estudo - A Mina do Espadanal.....	42
6.1 Enquadramento geográfico e geológico	42
6.1.1 As formações do Pliocénico em Rio Maior.....	45
6.2 O jazigo de lenhite.....	46
6.2.1 Caracterização da exploração	50

6.2.2 Período de funcionamento	53
6.2.3 Tipo de lavra	55
7. Metodologias de investigação da subsidência na Mina do Espadanal.....	63
7.1 Levantamento da zona da mina	63
7.1.1 Levantamento de subsidências	63
7.1.2 Levantamento e caracterização de danos à superfície	72
7.1.3 Campanha com recurso a Georadar ou GPR (Radar de Penetração no solo).....	78
8. Enquadramento da implantação de Galerias da Mina com o PDM de Rio Maior	87
9. Medidas de Redução de Risco.....	91
9.1 Previsão do enquadramento em Revisão do PDM.....	91
9.2 Elaboração de Mapas de Risco	92
9.3 Reabilitação da área da Mina do Espadanal.....	95
10. Outras Ameaças	99
10.1 Degradação do Património Edificado	99
10.2 Contaminação de águas subterrâneas	100
10.3 Risco de incêndio	101
11. Registo de Testemunhos	102
12. Conclusões	106
12.1 Considerações finais	106
12.2 Trabalhos futuros	107
13. Referências Bibliográficas.....	109
ANEXOS	

Índice de Ilustrações

<i>Figura 1 – Classificação de Subsidiências quanto à sua origem,</i>	8
<i>Figura 2 - Subsidiência do tipo Cova ou Fosso</i>	10
<i>Figura 3 - Subsidiência do tipo Afundamento, (adaptado de (Types of Mine Subsidence, s.d.))</i>	11
<i>Figura 4 - Corte transversal do desprendimento do teto e subsidiência acima do nível do desmoronamento da sala e os efeitos sobre as camadas geológicas adjacentes.</i>	12
<i>Figura 5 - Corte transversal do desprendimento do teto e subsidiência acima do nível do desmoronamento da sala e os efeitos sobre as camadas geológicas adjacentes.</i>	14
<i>Figura 6 - Forma básica da subsidiência em superfície. (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015).</i>	17
<i>Figura 7 e Figura 8 - Danos em edifício causados por subsidiência de antiga mina de carvão</i>	25
<i>Figura 9 – Subsidiência do terreno em área habitacional. (https://www.dnr.illinois.gov/mines/AML/Pages/Subsidence.aspx, s.d.)</i>	26
<i>Figura 10 – Danos em Shanxi</i>	27
<i>Figura 11 – Ortofotomapa, com a representação do desenvolvimento da deformação à superfície e a sua linha de demarcação previsível em 2050</i>	28
<i>Figura 12 – Ortofotomapa, com a projeção da deslocalização completa da cidade em 2099</i>	29
<i>Figura 13 – Efeitos de uma descontinuidade (“Quebra Vertical”) numa habitação na área de Germunde</i>	30
<i>Figura 14 - Corte geológico esquemático da bacia Carbonífera do Douro no sector de Germunde</i>	31
<i>Figura 15 e Figura 16- Subsidiências verificadas em dezembro de 1945 em sistema de lavra "Long Wall"</i>	32
<i>Figura 17 – Planta com a orientação do afloramento da camada de carvão entre o Abum e os Casais do Cidral.(© Nuno Rocha, Arquivo EICEL 1920)</i>	33
<i>Figura 18 – Pressão dos terrenos nas galerias</i>	34

<i>Figura 19 e Figura 20 - Subsidiências verificadas em 1997.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21 – Estrutura de suporte em madeira, de uma das galerias da mina do Espadanal.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22 –Geometria de aquisição de imagens radar (Fonseca e Fernandes, 2004).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23- Exemplo da Relação entre Interferogramas, obtidos em 3 anos distintos, na mesma zona, para monitorização de subsidiências de uma mina perto de Gardanne, em França.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 24- Aquisição de dados no terreno em modo de reflexão. a) Metodologia de aquisição; b) Radargrama resultante (Fernandes, 2007)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25- Enquadramento geográfico do concelho de Rio Maior, no território continental.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 26- Enquadramento geológico do local.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27 - Corte transversal esquemático do jazigo do Espadanal, destacando-se as principais camadas de lenhite.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28 – Planta da concessão do Espadanal n.º1, com marcação do Poço Mestre, Poço de Entrada, Sondagem S1 e Sondagem S2.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 29 – Cortes geológicos das sondagens realizadas (com identificação das camadas geológicas) no Poço Mestre, Poço de Entrada e S1 - Sondagem n.º1</i>	<i>48</i>
<i>Figura 30 – Corte geológico da sondagem realizada no ponto S2 - Sondagem n.º2</i>	<i>49</i>
<i>Figura 31- Plano Inclinado de acesso às galerias da Mina do Espadanal. Fotografia de Félix Bragança. Diário Ilustrado 28.06.1958, in http://rio-maior.blogspot.pt/2008/07/i-jornada-do-patrimnio-mineiro_05.html</i>	<i>54</i>
<i>Figura 32- Plano de Lavra da Mina do Espadanal. Detalhes do Desmonte pelo método de talhas sobrepostas, com entulhamento. Corte. (desenho s/escala, Rio Maior, 30 de junho de 1919. AHMIN, DGEG. Arquivo EICEL 1920.)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 33- Plano de Lavra da Mina do Espadanal. Detalhes do Desmonte pelo método de talhas sobrepostas, com entulhamento. Planta. (desenho s/escala, Rio Maior, 30 de junho de 1919. AHMIN, DGEG. Arquivo EICEL 1920.).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 34- Ilustração do plano de lavra adotado pelo Eng.º Falcão Mena, 1954, com desmonte por camadas com abatimento e fuga.....</i>	<i>58</i>

<i>Figura 35 - Esquema de rotura verificado no método de "Long-Wall". Fratura da rocha e padrão de deslocamentos verificado numa seção transversal ao eixo do painel. Adaptado de: (Brown, 1993)</i>	59
<i>Figura 36 – Ângulo de Fratura – Maciço de Proteção (desenho s/escala, Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal, 1959.04.05 © AHMIN, LNEG).....</i>	61
<i>Figura 37 – Distribuição das Principais Ocorrências de Carvão em Portugal Continental</i>	62
<i>Figura 38- Localização das Zonas em monitorização (desenho s/ escala).....</i>	64
<i>Figura 39- Extrato de planta com a demarcação de subsidências na cartografia atual,.....</i>	65
<i>Figura 40- levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z1</i>	66
<i>Figura 41 e Figura 42- Subsidência verificada na Zona Z3 (referente à zona de implantação do Poço dos Bogalho, com um registo de medição de diâmetro superior a 2 metros)</i>	67
<i>Figura 43- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z2 (Terreno confinante a sul com a Rua dos Mineiros, frente à empresa Casa Torre e a norte com a Escola Superior de Desporto – desenho s/ escala).....</i>	67
<i>Figura 44- Zona Z2 – Terreno confinante a sul com a Rua dos Mineiros, frente à empresa Casa Torre e a norte com a Escola Superior de Desporto</i>	68
<i>Figura 45- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z3</i>	68
<i>Figura 46 e Figura 47- Subsidência verificada na Zona Z3, referente à zona do Poço dos Bogalhos,.....</i>	69
<i>Figura 48- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z4</i>	69
<i>Figura 49 e Figura 50- Levantamento topográfico, georreferenciação e medições auxiliares</i>	70
<i>Figura 51- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z5 – Rua dos Mineiros, em Terreno junto ao Bairro do Espadanal, edificado onde existiram os escritórios da mina.....</i>	70
<i>Figura 52- Terreno confinante com o Bairro do Espadanal, em que é visível a formação de uma bacia.</i>	71
<i>Figura 53- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z6 – Junto ao Plano inclinado (desenho s/ escala).....</i>	71

<i>Figura 54 – Terreno junto ao Plano inclinado, com subsidência do tipo cova, agravada pela infiltração de água.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 55 – Estado atual do muro, na zona em que ruiu.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 56 e Figura 57 – Fendilhação exterior na fachada frontal e lateral esquerdo, estendendo-se a partir da zona do pilar.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 58 – Fendilhação de parede interior, zona de escritórios, no 1.º piso</i>	<i>74</i>
<i>Figura 59 e Figura 60– Pavimento do armazém, com junta de dilatação, apresentando abertura excessiva, com fendilhação e assentamento do pavimento em zona de proximidade à mesma.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 61– Ortofotomapa s/ representação à escala, com a indicação a rosa do perímetro urbano e a verde as zonas em que se verificam subsidências, em monitorização</i>	<i>79</i>
<i>Figura 62– Ortofotomapa s/ representação à escala, com a indicação a rosa do perímetro urbano e a azul, as zonas em que se realizou a campanha de registos com recurso a Georadar.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 63 – Equipamento de Georadar, instalado em smartcart, com a localização do Transmissor e Receptor de ondas eletromagnéticas, e respetivas antenas.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 64 e Figura 65– Transmissor e Receptor de ondas eletromagnéticas, instalados nas 2 antenas que equipam o Georadar</i>	<i>81</i>
<i>Figura 66 – Passagem do Georadar em linha, na Rua Cidade de Rio Maior – Estrada do Cidral.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 67 – Sobreposição das zonas em que se realizou a campanha de registos com recurso a Georadar (a azul), à planta de galerias da mina. - A rosa, representa-se o perímetro urbano</i>	<i>82</i>
<i>Figura 68– “Lineview”(100MHz) do P1, na Rua Cidade de Rio Maior</i>	<i>83</i>
<i>Figura 69– Extrato da sobreposição do P1 com a planta das galerias da mina. 84</i>	<i>84</i>
<i>Figura 70– “Lineview” (50 MHz) do P2, na Rua dos Mineiros</i>	<i>84</i>
<i>Figura 71– Extrato da sobreposição do P2 com a planta das galerias da mina, na Rua dos Mineiros.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 72– “Lineview” (50 MHz) do P3, na Rua do Espadanal.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 73– Extrato da sobreposição do P3 com a planta das galerias da mina, na Rua do Espadanal.</i>	<i>86</i>

<i>Figura 74– “Lineview” da Rua junto ao Plano Inclinado (100 MHz)</i>	<i>86</i>
<i>Figura 75 – Sobreposição de extrato da planta da cidade e carta de ordenamento do PDM com implantação das galerias da mina</i>	<i>88</i>
<i>Figura 76 e Figura 77- Registo fotográfico a 22 de dezembro de 2018, de Construção em curso, na Rua Cidade de Rio Maior, em zona de risco</i>	<i>92</i>
<i>Figura 78 - A Inventariação e Caracterização das Áreas Mineiras Abandonadas</i>	<i>96</i>
<i>Figura 79 – Vedação do perímetro da mina do Espadanal (Zona edificada).....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 80– Interior acessível do túnel do Plano Inclinado, obstruído pela derrocada parcial do seu traçado.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 81 e Figura 82 – Estado de conservação atual da chaminé da mina, do edifício da fábrica de briquetes, trituração e secagem de carvão.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 83 – Notícia in Século 29-09-1958, referente à combustão da lenhite na escombreira da mina, com dez anos de duração, e consequências da mesma.....</i>	<i>101</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1- Coeficientes P e a, (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2 - Máxima subsidência para diferentes profundidades e tamanhos de painéis considerando lavra de camada de 2 metros.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 3 - Classificação de danos provocados por subsidência a estruturas de betão e tijolo</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 4- Características comuns das antenas de radar</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 5- Bacia de lenhites e diatomitos de Rio Maior: Identificação por Couto mineiro. Fonte: (Cunha, et al., 2012).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 6 – Variação da inclinação do Plano Inclinado ao longo da sua extensão</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 7 – Minas mais significativas na produção de carvão de 1949 a 1958 ...</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 8 – Principais Reservas de Recursos Minerais Energéticos de Portugal (Carvão). Fonte : (Filipe, et al., 2010)</i>	<i>62</i>

<i>Tabela 9 – Caracterização Inicial das Zonas em Monitorização.....</i>	<i>65</i>
--------------------------------------------------------------------------	-----------

Índice de Gráficos

<i>Gráfico 1 - Determinação de subsidência máxima. Fonte: (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015), Adaptado de NCB, 1975; Peng, 1992).....</i>	<i>19</i>
<i>Gráfico 2 - Correção da subsidência para máxima.</i>	<i>20</i>
<i>Gráfico 3- Relações para determinação de perfil de subsidência.....</i>	<i>20</i>
<i>Gráfico 4 - Método National Coal Board (NCB, 1975) – Dano obtido pela relação entre o comprimento do edifício e a tensão horizontal do solo (Jialin, et al., 2014).....</i>	<i>23</i>
<i>Gráfico 5 - Evolução da extração de lenhite da Mina do Espadanal</i>	<i>60</i>

Lista de Símbolos, Nomenclaturas e Abreviaturas

AHMIN, DGEG	- Arquivo Histórico, mineiro da Direção Geral de Energia e Geologia
BEN	- Nefropatia Endémica dos Balcãs
CPE	- Companhia Portuguesa de Eletricidade
DGEG	- Direção Geral de Energia e Geologia
DGM	- Direção Geral de Minas
EDM	- Empresa de Desenvolvimento Mineiro
EDP	- Energias de Portugal
EICEL	- Empresa Industrial Carbonífera e Eletrotécnica, limitada
EICEL1920	- Associação para a Defesa do Património Mineiro, Industrial e Arquitetónico de Rio Maior
FCTUC	- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
GPR	- Radar de penetração no solo
GPS	- Global Positioning System
IGT	- Instrumento de Gestão Territorial
IMSIF	- <i>Illinois Mine Subsidence Insurance Fund</i>
InSAR	- <i>Interferometric synthetic aperture radar</i>
LGM	- Laboratório de Geologia e Minas
LNEG	- Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NCB	- <i>National Coal Board</i>
PDM	- Plano Diretor Municipal
PME	- Plano Municipal de Emergência
PMOT	- Plano Municipal de Ordenamento do Território
S. G.	- Serviços Geológicos

1. Introdução

Portugal não pode ser considerado um país com relevante importância no que respeita a ocorrências de carvão e, conseqüentemente, na indústria carbonífera. No entanto, não se pode afirmar que os carvões nacionais tenham sido e, ainda hoje, sejam desprovidos de interesse.

O desenvolvimento industrial no nosso país, principalmente na segunda metade do séc. XIX, fez com que a prospeção mineira se intensificasse, numa intenção de explorar as riquezas do subsolo. A existência de jazidas de minérios como o ferro ou o carvão, de extrema importância para o desenvolvimento industrial, potenciaram a pesquisa mineira.

A intensificação da exploração de carvão dá-se sobretudo a partir do início do séc. XX, devido aos custos com a importação e com a dificuldade na mesma, nos períodos de carência energética ligados aos conflitos das guerras mundiais de 1914-18 e de 1939-45.

A extração deste minério, nunca fomentou a introdução de mecanização na indústria extrativa como em muitos países da Europa, devido à reduzida dimensão, irregularidade dos jazigos e fraca qualidade dos minérios. Existia ainda o problema do transporte que se impunha como um obstáculo imenso à comercialização e consumo dos combustíveis. De tal modo que, ao findar o séc. XIX, a Revista *Industria Portuguesa* alegava que “as condições da nossa exploração mineira são de tal ordem, o transporte do minério é tão difícil que uma tonelada de carvão paga menos vindo de Cardiff ao Porto do que vindo de S. Pedro da Cova ao Porto” (Rocha I. V., *O Carvão na Industrialização Portuguesa*, 1998).

A lavra foi, desde sempre, ensombrada pela falta de transportes que permitissem a colocação do carvão, a preços competitivos junto dos potenciais consumidores e pela escassez de mão-de-obra em face de uma menor atratividade dos salários e condições de trabalho comparativamente a outras atividades. Este problema agravou-se com o apelo da emigração (Rocha N. A., 2010).

No início da segunda metade do séc. XX (final da década de 50), apresentam-se grandes dificuldades à produção de carvão, com o aparecimento de novos recursos energéticos a partir de derivados de petróleo.

As minas com produção de carvão mais significativa, eram à época, as minas do Douro, e as repercussões não tardaram, anunciando-se graves dificuldades para algumas unidades, como foi o caso da mina do Espadanal, com menor produção, mas afigurando-se como uma das principais do país. De facto, estas lenhites correspondiam à maior e mais significativa ocorrência de carvões de grau inferior em Portugal (Cunha, et al., 2012).

A mina do Espadanal, definindo uma ocorrência de importante quantidade de lenhites que atinge um valor da ordem dos 35 milhões de toneladas, constitui aquele que é o maior jazigo português desta matéria-prima (Rodrigues, 1986). Este jazigo que foi durante algum tempo explorado através de trabalhos subterrâneos, viu a sua exploração paralisada, iniciando-se novos estudos para uma exploração da mina a céu aberto, visando a utilização das lenhites como combustível para uma central térmica a instalar na proximidade do complexo mineiro, o que nunca viria a acontecer. Em 1969 a mina foi encerrada e em 1970 a concessão mineira e os seus ativos são transferidos para a Companhia Portuguesa de Eletricidade (CPE, posteriormente denominada EDP). Em 1976 por despacho ministerial e por razões de necessidade de reduzir as despesas com a segurança a maquinaria foi desmantelada e todo o seu espólio foi removido ou vandalizado.

O abandono das explorações e dos respetivos trabalhos subterrâneos fez com que, ficassem no subsolo quilómetros de galerias à mercê da ação do tempo e dos processos de alteração. Sucessivos abatimentos têm acontecido nas zonas de lavra, ao longo das últimas décadas, representando hoje as subsidências da mina do Espadanal uma grande preocupação, face à expansão urbana da cidade de Rio Maior.

2. Objetivos

Na presente dissertação pretende-se estudar o impacto da área da exploração da mina de lenhite¹ do Couto Mineiro do Espadanal, em Rio Maior, nas subsidências ocorridas no subsolo e consequências para a superfície e infraestruturas existentes, relacionando a área afetada com a expansão urbana existente, avaliando-se os seus riscos e propondo-se medidas de redução ou anulação dos mesmos. Assim, os objetivos principais deste trabalho, são:

- Investigar e avaliar a existência de evidências de subsidência na área afeta à exploração da mina do Espadanal;
- Investigar e avaliar a existência de evidências de danos em construções ou infraestruturas na área afeta à exploração da mina do Espadanal;
- Criar ferramentas de registo de patologias e da sua evolução, quer para terrenos, edificações ou infraestruturas, publicas e privadas;
- Apresentar propostas de monitorização e de estabilização, redução ou anulação de riscos.

Em conclusão, pretende-se que a presente dissertação sirva enquanto contributo científico para o reconhecimento da área de extração de lenhites, durante o período de exploração da mina, sobrepondo-se os registos cartográficos e instrumentos de gestão territorial, confrontando-se a existência de subsidências e os danos provocados pelas

¹ Considera-se a lenhite, lignito, ou linhito, o carvão em geral, castanho ou negro, pertencente a formações sedimentares cenozoicas, resultante da transformação (incarbonização) de restos vegetais acumulados com os sedimentos encaixantes. São habitualmente rochas compactas, fibrosas ou feltrosas, de tonalidade acastanhada, fosca – lignitos castanhos – ou negra, fosca ou brilhante. A estrutura dos tecidos vegetais da lenhite é quase sempre observável. O teor de carbono total é, em geral de 65 a 75%, a densidade oscila entre 1,1 e 1,3, sendo o teor em água entre os 10 e 30%, ou mais, como era o caso das minas de Rio Maior, cujo lignito à boca da mina chegava a ter 58% de humidade (Costa, 1999/2000).

mesmas, apresentando-se formas de registo e monitorização e de prevenção e minimização dos impactes.

Para se atingirem estes objetivos foram adotados diversos métodos e processos de análise e avaliação.

3. Metodologia

O conhecimento da realidade da exploração mineira do Couto mineiro do Espadanal, a sua caracterização geográfica e geológica, a sua evolução, planos de lavra, extensão e profundidades de exploração, bem como a sua história, são de importância primordial, para se abordar a temática das situações de subsidência, a sua relação com danos existentes e avaliação de riscos futuros para a comunidade local. Para se atingirem os propósitos da presente dissertação, importava fazer uma exaustiva pesquisa dos títulos da imprensa regional e mesmo nacional que à exploração do complexo mineiro do Espadanal, fizessem referência, desde 1918 até aos dias de hoje. Foi também feita pesquisa e consultada documentação diversa, existente em arquivo local da Empresa Industrial Carbonífera e Eletrotécnica (EICEL), ou em arquivos on-line ou físico da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Compreendeu-se desde o início, a extrema importância, que viria a confirmar-se, nos testemunhos de antigos trabalhadores e funcionários das minas, que nos terrenos identificaram as zonas onde já teriam existido acidentes, zonas sensíveis de provável subsidência e relatando na primeira pessoa, as vivências, os problemas e a forma de resolução adotadas, na lavra mineira, principalmente na segunda metade do século XX.

Sendo importante estabelecer analogias com outras situações nacionais ou internacionais, foi feita uma consulta a bibliografia de referência, tendo em vista uma abordagem ao estado da questão.

Com o intuito de proceder à demarcação de zonas afetadas com visibilidade atual, bem como possibilitar o acompanhamento evolutivo das subsidências existentes, procedeu-se durante o mês de maio de 2018, ao levantamento topográfico das situações consideradas mais relevantes.

Para o estudo do estado atual das galerias, mais à superfície, que acompanharam o afloramento da lenhite, recorreu-se à prospeção com o Georadar.

Foram elaboradas fichas para levantamento e caracterização de patologias em edifícios e em terrenos. Tendo conhecimento da existência de danos em alguns edifícios, junto à via de acesso a Cidral, procedeu-se ao levantamento das patologias verificadas no local, através de inspeção visual dos diversos elementos estruturais e de revestimento, no exterior e interior. Pretende-se que estas fichas sirvam para

caracterização atual de danos existentes em edifícios e terrenos, para a sua monitorização e para identificação e caracterização de situações futuras.

4. Estado da Questão - Subsidências em minas abandonadas

A temática da lavra mineira e dos riscos e acidentes associados, quer durante o período extrativo, como no período pós-extrativo, pela ocorrência de subsidências, após encerramento das minas e abandono das galerias subterrâneas, tem sido alvo de discussão há já bastante tempo, um pouco por todo o mundo, mas ainda com pouca relevância em Portugal.

A importância deste tipo de produção científica para a comunidade, reflete-se na necessidade de garantir que o desenvolvimento urbano é feito em condições de segurança, prevenindo acidentes graves que coloquem em risco pessoas ou bens.

O encerramento das explorações, deixam um legado muito maior que o edificado de apoio à lavra mineira, ou infraestruturas que se situam no subsolo e se estendem por quilómetros de galerias, a pequena profundidade ou até muitas dezenas de metros de acordo com o afloramento do minério. A existência de galerias abandonadas é muitas vezes esquecida ou ignorada pelos Instrumentos de Gestão Territorial, como os Planos Diretores Municipais, sendo permitido nestas áreas o uso de solo para fins como a construção. Os riscos associados às áreas ocupadas por galerias de minas no subsolo, são enormes e refletem-se inúmeras vezes em subsidências à superfície, que representam tanta maior gravidade, quanto o tipo de danos causado. Quando se trata de terrenos agrícolas, os proprietários procedem ao aterro, repondo o nível “abatido”. A gravidade aumenta, quando se trata de danos estruturais em edifícios. Nestes casos, os proprietários, procedem à reparação, sem monitorização da evolução dos mesmos. Há ainda a considerar os danos em infraestruturas, como vias de comunicação, condutas de águas, esgotos, gás natural, passagem de redes de telecomunicações ou eletricidade.

Há ainda uma outra questão, que suscita muitas dúvidas no seu enquadramento legal. Após o abandono de uma exploração, sobre quem recai a responsabilidade pela monitorização, gestão de ocorrências e pelos próprios danos provenientes da subsidência que se verifique no subsolo de terrenos particulares, sendo que os proprietários desconhecem muitas vezes, o que existe desde a superfície até dezenas de metros de profundidade, nos seus terrenos?

5. O fenômeno da subsidência mineira

5.1 Definição e caracterização

Um dos graves problemas induzidos pela exploração de minas de carvão é a possibilidade de ocorrência de subsidência mineira. Denomina-se subsidência mineira ao conjunto de fenômenos de movimentação descendente de camadas do subsolo, e da própria superfície do terreno, devido à tendência do mesmo em preencher os espaços vazios que são originados pela lavra subterrânea. A exploração mineira provoca diversos efeitos à superfície dos terrenos que se manifestam quer na área de exploração quer nas áreas vizinhas. (Gomes, 2008)

As subsidências têm características distintas relativas à extensão do fenômeno, às condições geológicas em que ocorrem, e quanto à sua magnitude.

A origem da subsidência (Figura 1), pode ser classificada em endogénica e exogénica segundo Prokopovich (1978). A subsidência exogénica tem causas externas, principalmente por influência de ação humana, como a retirada de preenchimento e suporte subterrâneo, enfraquecimento do mesmo ou o aumento da carga na superfície. A endogénica é ocasionada por causas internas, com causas naturais, relacionadas com a geologia, como falhas geológicas, vulcanismo, tração continental, entre outros.

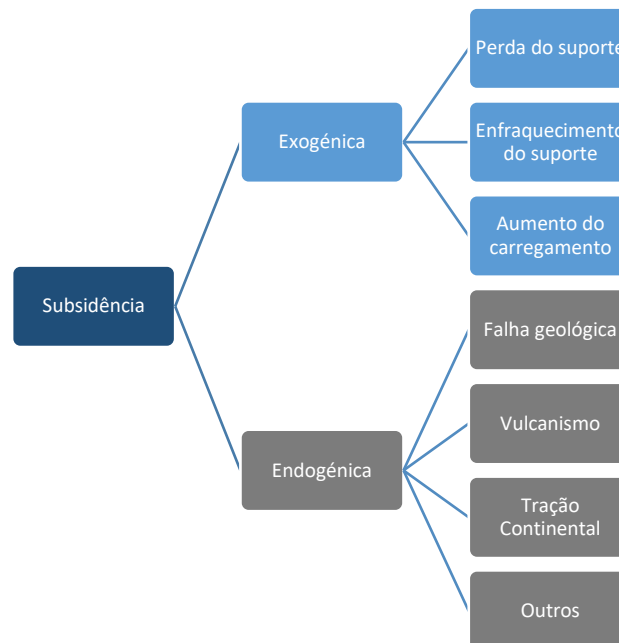


Figura 1 – Classificação de Subsidências quanto à sua origem, (adaptado de (Prokopovich, 1978))

O fenômeno da subsidência do solo, do ponto de vista do mecanismo causador, pode organizar-se em cinco grupos (Carvalho, 2010):

- Devido à hidrocompactação que compreende um fenômeno de saturação rápida em depósitos finos não saturados e mal compactados. Nesses materiais, ocorre um rearranjo das partículas do solo devido à presença de água. O solo, então perde a sua capacidade de suporte resultando num adensamento devido ao seu peso próprio. É um processo que pode atingir alguns metros de profundidade, comum em ambientes desérticos e em regiões semiáridas. Normalmente é provocada por atividades humanas como irrigação, construção de pequenos reservatórios artificiais de água, construção de canais, entre outros;
- Devido à dissolução de rochas e sais, é o processo do meio físico que consiste na dissolução de rochas pelas águas subterrâneas e superficiais, que resulta no processo de formação de cavernas subterrâneas. É um processo comum de dissolução de rochas calcárias ou carbonatadas (calcário, dolomito, mármore), evaporativas (halita, anidrita) e, menos comumente, rochas de silicatos (granito, quartzito);
- Devido à extração de água subterrânea, em aquíferos sedimentares porosos: resultante do bombeamento do fluido que reduz a pressão dos poros os quais ajudam a suportar as camadas subjacentes de solo. Essa redução de pressão dos poros é consequência do rebaixamento do nível da água e aumento de tensão vertical efetiva nos solos;
- Devido à extração de petróleo ou gás, ocorre quase da mesma forma que o fenômeno relacionado com a extração de água. A pressão dos poros é reduzida pela extração de fluidos, à medida que a carga da rocha subjacente é gradualmente transferida às rochas do reservatório, produzindo sua compactação. O colapso diferencial é o efeito superficial mais comum associado a esse processo e tem origem praticamente no centro da área de produção, tal como acontece com um poço profundo;
- Devido à atividade mineira, ocorre devido ao colapso de materiais rochosos consolidados e/ou não consolidados, dentro das galerias subterrâneas. Por ser consequência da retirada do suporte subterrâneo

em grandes proporções, a componente vertical do rebaixamento do solo é proporcional à altura da área de extração. O fenômeno não está relacionado a um tipo específico de solo, mas sim à presença de água, seja em forma de circulação ou pela flutuação do seu nível, em localidades de escavação de minas.

Quanto à sua forma e de acordo com o Illinois Mine Subsidence Insurance Fund (IMSIF), as subsidências apresentam-se sobretudo com cova ou fosso ou por afundamento (Types of Mine Subsidence, s.d.):

- Com cova, fosso ou sumidouro - a subsidência de cova, fosso ou sumidouro, forma um buraco em forma de sino com 1,5 a 3 m de profundidade e de 0,5 a 12 m de diâmetro e ocorre quando o teto da mina desmorona (Figura 2).

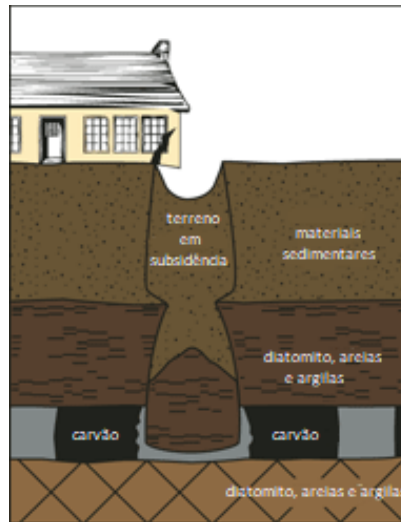


Figura 2 - Subsidência do tipo Cova ou Fosso (adaptado de (Types of Mine Subsidence, s.d.))

- Por afundamento - o tipo mais comum de subsidência de minas, aparece como uma depressão suave no solo que se pode se estender por áreas extensas. O colapso dos pilares que sustentam o teto da mina é uma causa típica deste comportamento (Figura 3).



Figura 3 - Subsidência do tipo Afundamento, (adaptado de (Types of Mine Subsidence, s.d.))

A subsidência de cova é comum em áreas que cobrem explorações mais à superfície. As covas ou buracos ocorrem desde o colapso do teto da mina até a abertura à superfície, resultando em desmoronamento dos estratos sobrepostos e uma depressão abrupta na superfície do solo. A maioria dos buracos desenvolve-se onde a quantidade de cobertura é inferior a 15 m (distância vertical entre a camada de carvão e a superfície). Este tipo de subsidência é geralmente localizado, afetando uma área relativamente pequena à superfície. A subsidência através de covas tem sido responsável por danos extensos em várias casas e propriedades ao longo dos anos. (PENNSYLVANIA - Department of environmental protection, s.d.)

5.2 Ocorrência e desenvolvimento

A subsidência geralmente ocorre gradualmente quando é contemporânea com a mineração. Após a cessação da mineração, a subsidência pode continuar a ocorrer de forma gradual e estável, ou pode parar por um período, e ter continuidade numa data posterior.

A extração de carvão remove o suporte dos estratos sobrepostos, fazendo com que eles caiam no espaço vazio criado. O afundamento propaga-se para cima até a superfície e, em princípio, a subsidência máxima na superfície não pode ser maior que a espessura do leito de carvão extraído.

No entanto, a erosão causada pela percolação e passagem de água, com arrastamento de materiais finos não consolidados pode criar uma cavidade mais profunda do que a altura da galeria.

A extensão lateral da subsidência na superfície é maior do que a extensão da mineração subterrânea. A posição à superfície da fronteira entre áreas de subsidência e de nenhuma subsidência, é definida pelo "ângulo de limite". Este é o ângulo entre uma linha vertical desenhada para cima da superfície, a partir da borda da abertura subterrânea e o ponto de superfície de subsidência zero (Figura 4). O ângulo de limite varia de 25 a 35 graus na maioria dos casos. Quanto maior o ângulo de inclinação, maior será a zona na superfície em que a subsidência deve ocorrer. Usando o maior dos vários ângulos possíveis, é estabelecida uma margem de segurança maior para aquelas áreas situadas fora do limite de possível afundamento (Colorado School of Mines, 2018).

Assim, quanto mais profunda a subsidência da mina, maior a área potencialmente afetada à superfície. No entanto a componente vertical de subsidência diminui com o aumento da profundidade ou da espessura de sobrecarga, especialmente se o leito for rochoso (Ohio Department of Natural Resources, 2010).

Na Figura 4 apresenta-se em corte transversal, a forma como o desprendimento do teto de uma cavidade pode influenciar as camadas sobrejacentes e gerar subsidência à superfície. O fenômeno é gerador de campos de tensões e fraturas nas zonas mais superficiais.

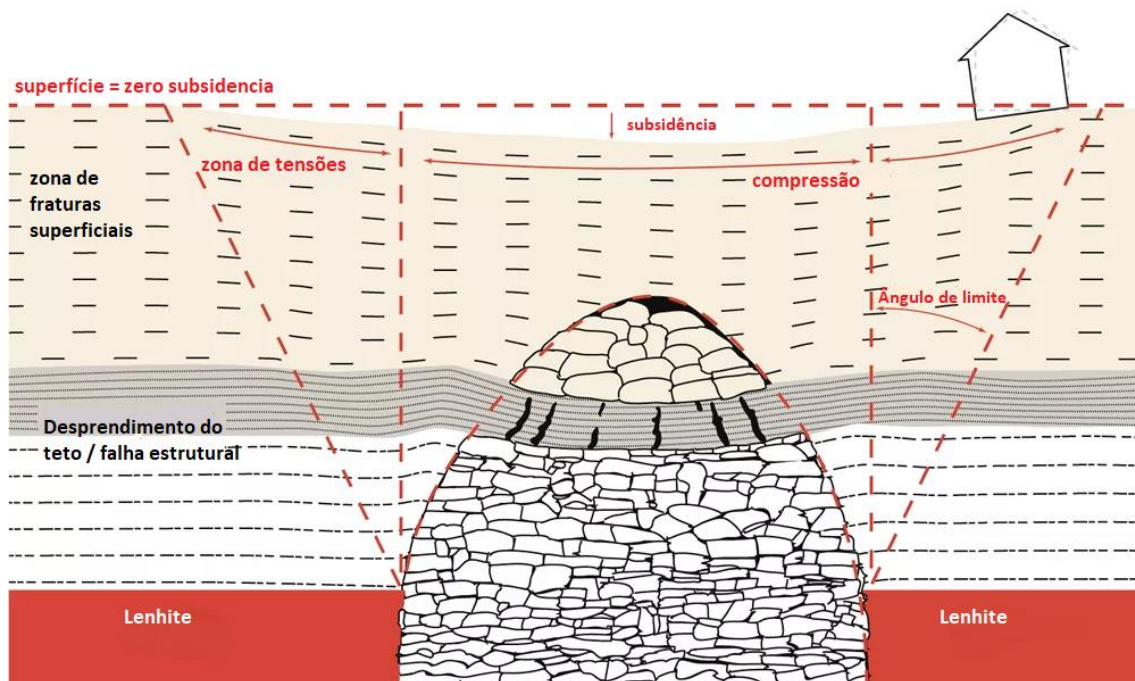


Figura 4 - Corte transversal do desprendimento do teto e subsidência acima do nível do desmoronamento da sala e os efeitos sobre as camadas geológicas adjacentes. (adaptado de (Colorado Division of Reclamation, Mining & Safety, 2009)

Com o afundamento do teto, dão-se ruturas, e, eventualmente, colapso da área envolvente, com rotações e torções de camadas geológicas e materiais da própria galeria desintegrando-se enquanto caem, deixando vazios, resultando numa compactação incompleta. Por outras palavras, o vazio da mina não fica completamente preenchido durante um colapso do teto.

É também importante salientar que a subsidência em minas aumenta consoante o tamanho dos pilares de suporte diminui. Ao fazer o desmonte do pilar, aumenta a largura do teto sem suporte, aumentando a probabilidade de subsidência. Além disso, diminuindo o tamanho de um pilar aumenta a hipótese de esmagamento do pilar ou de o pilar criar perfuração, aumentando a hipótese do colapso do teto. O esmagamento do pilar resulta quando o peso da camada de terra excede a capacidade de suporte de carga do pilar, que é esmagado. A perfuração pelo pilar ocorre quando o peso da camada de terra excede a capacidade de suporte de carga do leito, e o pilar é empurrado para baixo, perfurando o chão. Na perfuração pelo pilar, a camada de leito é geralmente argila macia.

A subsidência de minas é ainda afetada por circulação de água. Algumas minas subterrâneas permanecem secas após o seu abandono, muitas outras enchem com água, de infiltração ou do nível freático. A circulação de água numa mina subterrânea pode deteriorar o suporte do teto ou a própria camada respeitante ao mesmo. Devido à sua incompressibilidade, a água fornece suporte para o teto de uma mina, uma vez cheia de água. Contudo, a probabilidade de subsidência aumenta onde as fraturas se cruzem com o teto da mina. As fraturas são planos naturais de debilidade onde o colapso do teto e hasteais é mais provável de ocorrer.

O período de tempo para a subsidência ocorrer aumenta com a profundidade de exploração.

Além de pilares de carvão deixados na mina, os tipos de montantes do apoio do teto ou telhado, também afetam a probabilidade de ocorrência de subsidência. A maioria das minas subterrâneas usavam vigas de madeira como suporte do teto das galerias. Com o tempo, após o abandono de uma mina subterrânea, estes tipos de suporte do teto, eventualmente apodrecem ou deterioram-se, criando condições para a subsidência de ocorrer.

Devido à complexidade das variáveis que contribuem para a subsidência é extremamente difícil prever com precisão, a localização, o tempo ou a quantidade de

subsidiência que possa vir a ocorrer em área de exploração mineira, em atividade ou abandonada (*Ohio Department of Natural Resources, 2010*) devendo no entanto ser um fenómeno a considerar nestas zonas.

A subsidiência mineira depende, fundamentalmente, das características geotectónicas e hidrogeológicas do maciço, das características geomecânicas dos materiais que o compõem, da geometria e forma das aberturas subterrâneas da exploração, bem como, do método de desmonte utilizado (Sousa, 2010).

A subsidiência por afundamento causa duas direções de movimento no solo - queda vertical e movimento horizontal em direção ao centro do afundamento (Figura 5). O abatimento na superfície pode ser muito mais largo do que a parte colapsada da mina.

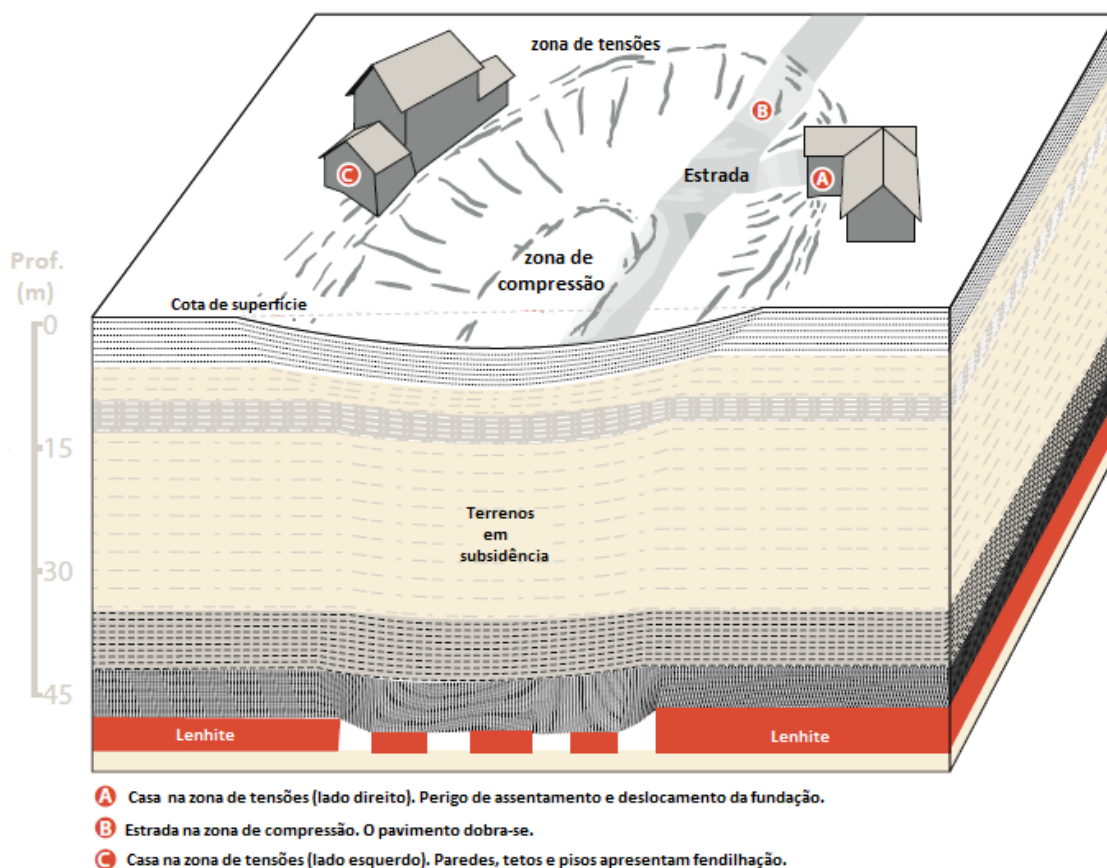


Figura 5 - Corte transversal do desprendimento do teto e subsidência acima do nível do desmoronamento da sala e os efeitos sobre as camadas geológicas adjacentes. (adaptado de (*Colorado Division of Reclamation, Mining & Safety, 2009*))

Na zona de tensão, grandes fendas no solo podem desenvolver-se e resultar em danos nas estruturas nessa área. Na zona de compressão, as estradas podem apresentar deformações. O tipo e a extensão do dano dependem da orientação e posição de uma estrutura dentro de um afundamento (Paul B. DuMontelle, 1981).

Na Figura 5, as casas A e C, por exemplo, podem apresentar fendas e separações de elementos, causadas por tensão em todo o edifício. A casa C precisará de ser totalmente suportada. Os danos na casa A serão restritos principalmente ao lado em balanço, de modo que somente esse lado precisará ser suportado.

O método de desmonte efetuado é uma das principais causas de subsidência, sendo comuns desde métodos com recurso a salas ou camaras e pilares² até métodos como “*Long-Wall*”³.

A subsidência provocada pela lavra através de salas ou câmaras e pilares pode ocorrer em qualquer mina ativa ou abandonada. Os impactos e danos resultantes na superfície podem ser semelhantes, no entanto, os mecanismos que desencadeiam a subsidência podem ser diferentes.

Os pilares têm a função de suporte do maciço rochoso evitando a subsidência na superfície e garantindo a estabilidade das galerias abertas. Para que isso ocorra é necessário que os pilares e as galerias estejam corretamente dimensionados, para suportar o rearranjo das cargas do maciço rochoso, caso contrário haverá uma sobrecarga nos pilares fazendo com que estes colapsem e conseqüentemente permitindo a subsidência na superfície (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015).

Nas minas abandonadas, as depressões geralmente ocorrem quando a sobrecarga provoca uma ação descendente, devido à falha de pilares de minas remanescentes, ou ao puncionar os pilares num piso ou ainda num piso de mina menos resistente. É difícil, se não impossível, prever se ou quando a subsidência numa mina abandonada pode ocorrer, já que as minas abandonadas podem entrar em colapso muitas décadas após a conclusão da exploração, agravando-se a situação se o funcionamento da mina não foi projetado para fornecer suporte de longo prazo. (*PENNSYLVANIA - Department of environmental protection, s.d.*)

Neste tipo de lavra são enunciados como possíveis causas da ocorrência de subsidência, o dimensionamento inadequado de pilares e a retração ou retirada dos pilares posteriormente à lavra. Some-se a isso o apodrecimento da madeira que

² Método no qual um conjunto de câmaras é desenvolvido, deixando pilares do próprio minério em exploração, normalmente com tamanho uniforme, para suportar o teto. Estes pilares podem ou não ser retirados após a extração do minério.

³O método de lavra por long-wall é tradicionalmente um método aplicado a lavra subterrânea de carvão, onde não é mantida a integridade do teto imediato acima do carvão já minerado (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015).

compunha os escoramentos dos tetos das galerias e das minas antigas e o desabamento dos veios (Baccin, 2011).

Na lavra de carvão pelo método de long-wall, por ser um método onde ocorre o abatimento do teto atrás da frente de lavra, a ocorrência de subsidência é esperada e levada em consideração nos projetos. Diversos autores debatem esse tema, seus danos e seu raio de abrangência, porém é de consenso que o raio de abrangência dos efeitos é dependente de fatores (PENG, 1992 e 2006), tais como:

- Geometria do painel de lavra;
- Profundidade da camada explorada;
- Estratigrafia acima da camada explorada.

Em termos genéricos, existem fatores comuns aos diversos tipos de lavra, face aos riscos e efeitos causados:

Os principais efeitos da subsidência (Curi, 2017), em termos de degradação ambiental, são:

- Assentamentos diferenciais, com reflexos nas edificações, redes de água, esgotos, eletricidade;
- Fraturas do terreno;
- Deslizamento de taludes;
- Diminuição de volume de água dos aquíferos naturais.

Principais questões de preocupação (Yu, Chen, Deng, Wang, & Fan, 2018):

- A estabilidade da superfície do solo;
- Determinação da data de ocorrência;
- Extensão do colapso, e os desastres associados;
- O efeito nas estruturas superficiais;
- Riscos para a vida.

Fatores que contribuem para a ocorrência de subsidência

A intensidade, o desenvolvimento e a expressão à superfície do processo de subsidência é determinada por vários fatores, a maioria dos quais são interdependentes (Lee & J. F. Abel, 1983):

- Método de lavra;
- Profundidade da extração;
- Tamanho e configuração das galerias;
- Taxa de avanço ou de extração;
- Espessura da costura;
- Topografia;
- Litologia;
- Estrutura;
- Hidrologia;
- Tensões in situ;
- Resistência das rochas;
- Propriedades de deformação.

5.3 Determinação da área de subsidência

Sendo o método de lavra por Long-wall, aquele que geralmente maior área de subsidência provoca na superfície, importa analisar a forma de determinação da área possível de ocorrência de subsidência. Luo & Peng (1997), apresentam uma fórmula empírica para estimar a largura crítica relacionada com a máxima subsidência.

$$W_c = 100 + 1,048h$$

Eq. 1

Peng (2006 e 1992) refere que a máxima subsidência se concentra no centro do painel explorado (Figura 6), o que também irá ocorrer durante o avanço da lavra. Assim sendo, a máxima subsidência localiza-se sempre no centro da área colapsada (lavrada).

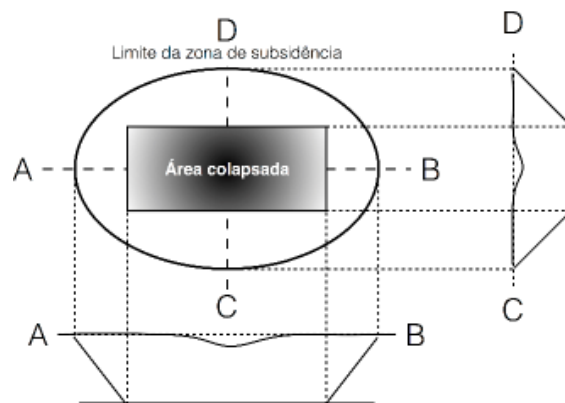


Figura 6 - Forma básica da subsidência em superfície. (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015).

Peng (1992) apresenta fórmula empírica (Eq. 2) para determinação da máxima subsidência (S_{max}), em função de um fator de subsidência (a) e de uma altura crítica e da altura de lavra (m).

$$S_{max} = a * m$$

Eq. 2

Onde (a) é ainda em função de P , um coeficiente das propriedades estratigráficas.

$$a = 0,5(0,9 + P)$$

Eq. 3

Peng (1992) apresenta diferentes maneiras de determinação do coeficiente P : desde maneira direta e simplificada (Tabela 2) a métodos de maior complexidade com outros fatores ponderadores.

Tabela 1- Coeficientes P e a , (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015)

Classificação da Rocha	P	a
Dura	0,0 - 0,3	0,45 - 0,6
Média - Dura	0,3 - 0,7	0,6 - 0,8
Branda	0,7 - 1,1	0,8 - 1,0

Para o caso de largura de painel menor que a crítica, Peng (1992) apresenta a equação 4:

$$S_0 = a * m * \sqrt{\frac{w_1}{w_c} * \frac{w_2}{w_c}}$$

Eq. 4

Onde w_1 e w_2 são comprimento e largura da área colapsada respectivamente, e w_c a largura crítica de subsidência.

Para descrever analiticamente o perfil de subsidência, Peng (1992) apresenta o modelo de exponencial negativa e de tangente hiperbólica, sendo mais utilizada nos EUA a tangente hiperbólica (Eq. 5).

$$S(x) = \frac{1}{2} * S_0 * \tanh * \frac{cx}{H}$$

Eq. 5

Onde a tangente hiperbólica pode ser representada por função exponencial (Eq. 6):

$$\tanh x = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

Eq. 6

No modelo de tangente hiperbólica (equação 4) é utilizada a constante (c), a qual é inferida conforme a estratigrafia, Peng (1992) sugere o valor de 8,3. Já H corresponde à profundidade da zona minerada e x à distância contada a partir do centro da subsidência.

Outra opção para a estimativa de subsidência é a solução gráfica (NCB, 1975; PENG, 1992), esta mais prática para estimativas iniciais, porém sem considerar as características geomecânicas dos estratos.

Primeiramente utiliza-se o gráfico 1 para determinar a subsidência máxima (S) em função da largura do painel (w), da profundidade (h) e da espessura da camada (m).

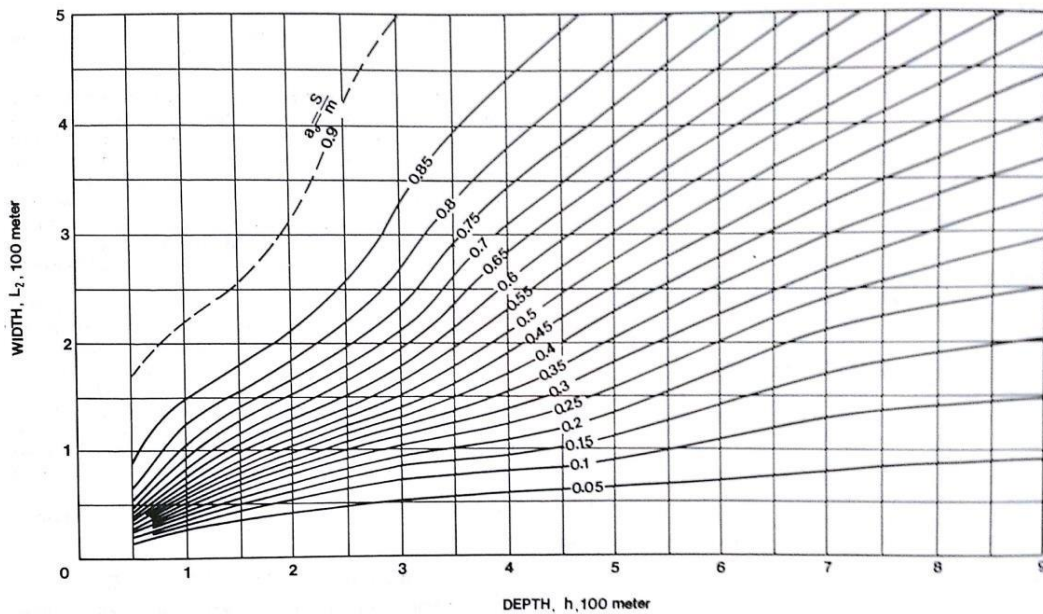


Gráfico 1 - Determinação de subsidência máxima. Fonte: (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015), Adaptado de NCB, 1975; Peng, 1992)

Para a hipótese de não estarmos numa condição de largura crítica, é utilizado o gráfico 2 para correção da subsidência.

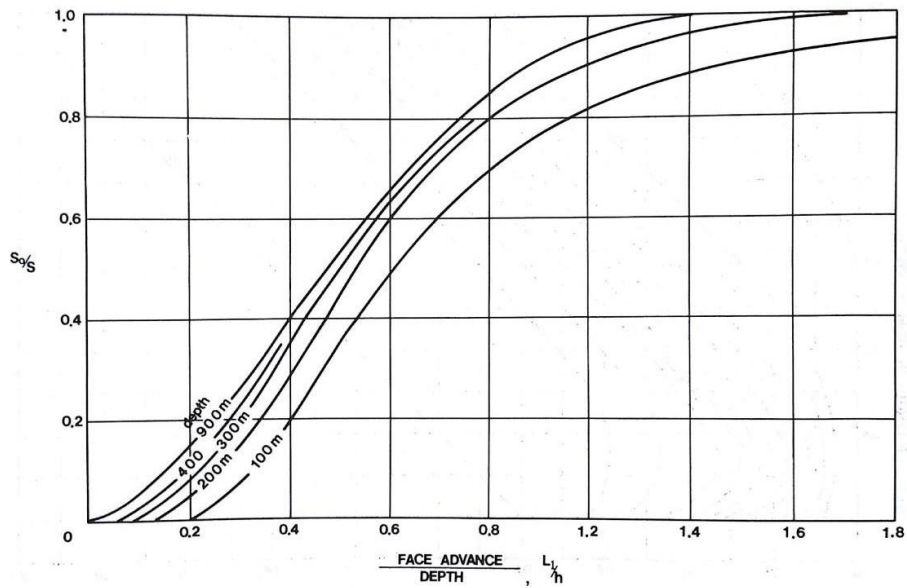


Gráfico 2 - Correção da subsidência para máxima.
 (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015), adaptado de NCB, 1975 apus Peng, 1992)

Por fim utiliza-se o gráfico 3 para se determinar o perfil da subsidência. No gráfico fixamos a razão largura por profundidade e analisamos a linha fixada, da esquerda para a direita, assim teremos na linha fixada a razão entre a subsidência na posição e a subsidência máxima, a posição é dada no eixo horizontal e está apresentada como razão entre a posição, a contar do centro do painel, e a profundidade, portanto, ao termos a profundidade encontramos a posição.

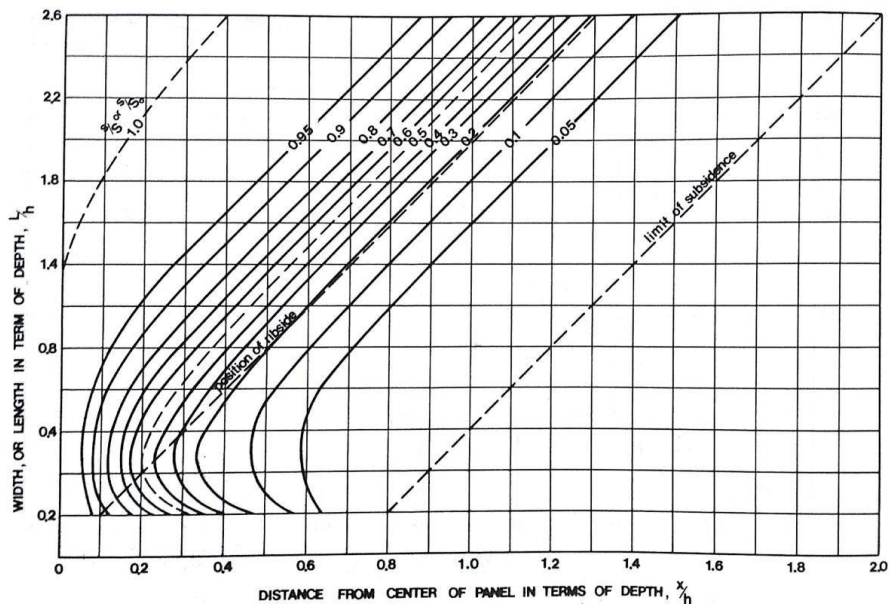


Gráfico 3- Relações para determinação de perfil de subsidência.
 (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015), Adaptado de NCB, 1975 apus Peng, 1992)

Na Tabela 2 é apresentada a máxima subsidência estimada pelo método para diferentes profundidades pelo método gráfico (NCB, 1975 apus PENG, 1992).

Tabela 2 - Máxima subsidência para diferentes profundidades e tamanhos de painéis considerando lavra de camada de 2 metros.

profundidade (m)	largura do painel (m)			máxima
	200	300	400	
250	1,88	2,18	2,25	2,25
300	1,65	2,08	2,18	2,18
350	1,38	1,90	2,13	2,13

Fonte: (Alves Cantini Cardozo, Zingano, Zampiron, & Cordova, 2015)

5.4 Classificação de danos

Sempre que uma cavidade é criada no subsolo, devido à mineração de minerais ou por qualquer outro motivo, o campo de tensões entre os estratos é perturbado. Essas mudanças de tensões produzem deformações e deslocamentos dos estratos, cuja extensão depende da magnitude das tensões e das dimensões da cavidade. Com o tempo, as estruturas de suporte deterioram-se e a cavidade aumenta, resultando em instabilidade. Isso induz os estratos suprajacentes a moverem-se para o vazio. Gradualmente, estes movimentos transmitem-se até a superfície, manifestando-se como depressão, ou subsidência, que por sua vez provoca danos nas estruturas ou construções apoiadas no solo.

Em geral, os indicadores usados para avaliar o efeito de mineração na superfície do solo e em construções são: o deslocamento vertical, o deslocamento horizontal, a inclinação, a deformação e a curvatura, entre os quais os últimos três são a principal causa de dano nas construções, em particular a deformação. No entanto, a ocorrência de danos em construções depende também da sua tolerância a deformações, que difere muito de caso para caso. Portanto, é necessário estabelecer-se uma deformação padrão para confirmar que as construções permanecem seguras durante e após a extração do carvão, no subsolo sob os edifícios (Jialin, et al., 2014).

Várias classificações de danos foram desenvolvidas, que correlacionam danos nos elementos de construção com os movimentos do solo.

Com vista ao direito à indemnização, o State Bureau of Coal Industry (2000) classificou os níveis de dano para as estruturas de betão e tijolo (*Tabela 3*).

Geralmente, o nível I indica que não há fissuras macroscópicas a registar nas estruturas pelo que a empresa de carvão não precisa de proceder a qualquer pagamento.

Tabela 3 - Classificação de danos provocados por subsidência a estruturas de betão e tijolo

Nível de Dano	Deformações na superfície			Classificação	Procedimento Estrutural
	Extensão ξ (mm/m)	Curvatura K (mm/m ²)	Inclinação i (mm/m)		
I	≤ 2.0	≤ 0.2	≤ 3.0	Dano desprezável	Não reparar
				Dano muito leve	Reparação leve
II	≤ 4.0	≤ 0.4	≤ 6.0	Dano leve	Pequena reparação
III	≤ 6.0	≤ 0.6	≤ 10.0	Dano médio	Média reparação
IV	> 6.0	> 0.6	> 10.0	Dano Severo	Grande reparação
				Dano muito severo	Demolição e reconstrução

Fonte : (Jialin, et al., 2014)

Em 1975 no Reino Unido, o National Coal Board – Conselho Nacional de Carvão (NCB), na edição do Subsidence Engineers Handbook, publicou um gráfico mostrando a relação entre impacto, tensão horizontal no solo e o comprimento de uma estrutura de edifício. Foi baseado em dados empíricos obtidos do estudo dos efeitos da subsidência ao longo de 165 linhas de observação numerosas em zona de exploração mineira.

A intensa exploração de hulha realizada em áreas urbanizadas de Inglaterra desde o início do século 20 gerou danos consideráveis nos prédios, portanto, era necessário criar um método para prever possíveis danos e usar as respetivas medidas de prevenção. Foram feitas tentativas para determinar uma relação entre a intensidade de deformação do solo sob o edifício e o grau de danos observados com base nos danos registado em habitações.

A resistência do edifício foi relacionada com o seu comprimento. O risco de ocorrência de tensões contínuas no solo com base num índice de deformação, isto é,

na máxima tensão horizontal previsível. A relação entre o comprimento do edifício, a tensão horizontal do solo e o risco de danos para o objeto foi determinada com funções hiperbólicas (MALINOWSKA, 2013) . O comprimento dos edifícios para as quais os riscos de dano podem ser estimados com estes métodos, varia de 0 a 250 m. Tal facilita a análise do risco de danos para a maioria dos edifícios.

O Conselho Nacional de Carvão recomendou uma classificação com cinco níveis de dano (muito pequeno, pequeno, considerável, grave, muito grave) para edifícios, relacionando comprimento da estrutura e tensão induzida pela mineração (Gráfico 4). Por exemplo, uma estrutura de 10 m de comprimento sofreria danos muito leves provocados pela atividade mineira quando a deformação horizontal é inferior a 3 mm / m, o que significa rachaduras tipo cabelo ou fratura no edifício, não visível no exterior.

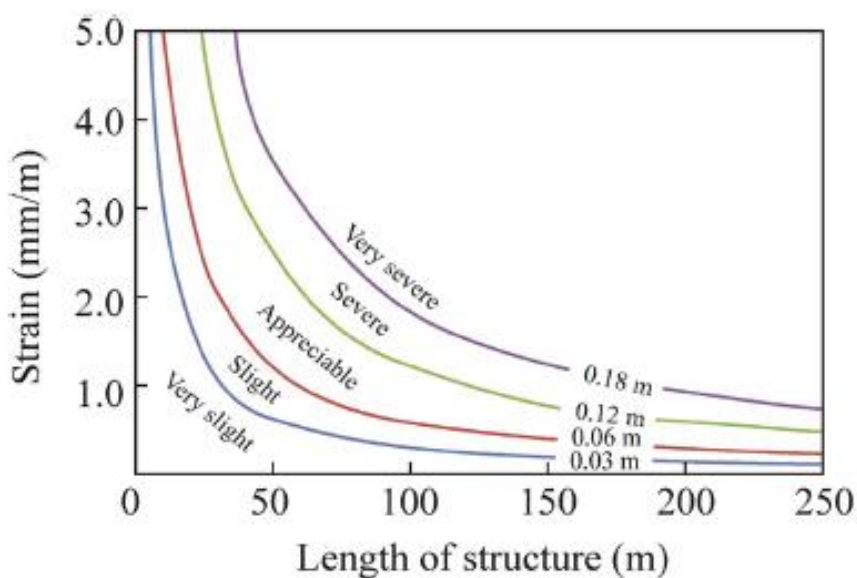


Gráfico 4 - Método National Coal Board (NCB, 1975) – Dano obtido pela relação entre o comprimento do edifício e a tensão horizontal do solo (Jialin, et al., 2014)

Neste método, o risco de danos é associado com um fator, que é a tensão máxima horizontal. Não há nenhuma distinção entre tensões de compressão e de tração, nem é analisada a sua direção, nem a sua duração. São analisadas tensões horizontais de 0-5 mm / m, ou seja, um grau moderado de tensões horizontais (Jialin, et al., 2014).

5.5 A subsidência em zonas mineiras

5.5.1. No mundo

Em algumas regiões de muitos países do mundo, encontram-se amplas áreas de exploração mineira abandonadas representando importantes passivos ambientais, herdados pela geração atual. Esses legados de degradação requerem ações do poder público, de empresas mineiras e da população para que os impactos ambientais sejam minimizados. No caso de antigas lavras subterrâneas de carvão esses danos materializam-se pelo fenômeno da subsidência, que consiste no afundamento ou colapso do solo e de camadas de rochas superficiais sobre áreas exploradas no subsolo, repercutindo em conflitos para os proprietários ou usufrutuários atuais desses terrenos (Baccin, 2011)

- Criciúma – Santa Catarina - Brasil

A expansão da exploração subterrânea mineira em Criciúma, Santa Catarina, no Brasil, para atender à procura de energia a partir da década de 1970, atraiu novos moradores, direcionando o crescimento de forma pouco planejada para as áreas periféricas outrora exploradas subterraneamente. Como no passado, a recuperação das áreas mineiras não era uma atividade rotineira quando do término da atividade mineira, em função da limitada atuação de dispositivos legais até então, os bairros da cidade expandiram-se sobre áreas com vazios em profundidade correspondentes a antigas galerias, “salões” e poços, entre outros componentes da exploração de carvão. Com a expansão do uso e ocupação do solo sobre antigas áreas exploradas começaram a surgir diversos casos de subsidência e conflitos entre usuários do solo e do subsolo envolvendo a população, as empresas mineiras, o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), os órgãos ambientais e o Ministério Público. (Corrêa R., 2017)

O uso e ocupação do solo em áreas mineiras exploradas subterraneamente no passado pelo método de câmara e pilar e hoje urbanizadas, resulta no aumento de sobrecarga em função da construção de edificações e do aumento da movimentação de pessoas e veículos, provocando o abatimento das camadas superficiais. Situações deste tipo têm sido registradas em Criciúma, afetando construções, ruas, pátios e quintais, como demonstram as Figuras 7 e 8. (Corrêa R., 2017)



Figura 7 e Figura 8 - Danos em edifício causados por subsidência de antiga mina de carvão na localidade do bairro Rio Maina, Criciúma/SC. (Baccin, 2011)

Segundo (Baccin, 2011), um dos grandes problemas causados por subsidências em áreas urbanas são as fendas em residências e noutras estruturas de superfície.

- Illinois – América do Norte

No estado de Illinois, na América do Norte, em 1848 teve início a exploração de minas de carvão, que se intensificou a partir da guerra civil (1861-1865), com o desenvolvimento e expansão da rede ferroviária. As primeiras minas subterrâneas eram pouco mais que túneis estendidos, ampliados em salas e trabalhados à mão. Os mineiros usaram um método chamado "salas e pilar". Usando este sistema, os trabalhadores das minas criaram aberturas ou "salas" enquanto extraíam carvão. Algum carvão foi deixado para apoiar o teto, servindo de pilar. (Types of Mine Subsidence, s.d.)

O objetivo dos mineiros era extrair o carvão e sair da mina. Como não havia urbanização acima das minas, não havia preocupação com a estabilidade a longo das galerias. Quando cessou a exploração, as minas foram abandonadas, mas as áreas abrangidas pelas explorações, não estavam estáveis.

Segundo o IMSIF e segundo o levantamento geológico do Estado de Illinois, aproximadamente 813 420 km² de terras urbanas e construídas em Illinois estão nas proximidades de minas. Dentro dessa área, estima-se que existam 330 000 unidades habitacionais, como a representada na Figura 9, que estejam expostas à subsidência dos terrenos.



Figura 9 – Subsidiência do terreno em área habitacional.
(<https://www.dnr.illinois.gov/mines/AML/Pages/Subsidence.aspx>, s.d.)

- Shanxi - China

Na província de Shanxi, no norte da China, os habitantes da aldeia de Helin estão a travar uma batalha à medida que o solo por baixo deles se desmorona: remendando fendas, reconstruindo muros e enchendo buracos causados por décadas de exploração das minas de carvão. Uma centena de poços de minas em Helin - enterrados nesta zona rural e montanhosa perto de Xiaoyi - têm sido desativados e barracões, de uma forma desorganizada, equilibram-se de forma precária nas encostas das minas.

Minas escavadas sob aldeias e cidades durante as três décadas que durou o boom do carvão na China, deixaram as autoridades com necessidade de evacuar centenas de localidades em perigo de se afundarem (Figura 10). Só na província de Shanxi, estimou-se a necessidade de retirar 655 mil residentes, até fim de 2017, de antigas zonas mineiras inseguras.



*Figura 10 – Danos em Shanxi.
Foto Jason Lee/REUTERS (Reuters, 2016).*

Segundo dados oficiais, as minas de carvão já causaram 26 mil desastres geológicos até finais de 2014, e 20 mil km² de terra foram afetados, uma área do tamanho da Gâmbia, em África, segundo certas estimativas (Reuters, 2016).

- Kiruna- Suécia

Na cidade Sueca de Kiruna, existe uma das maiores minas de minério de ferro do mundo. Fundada em 1900, pela empresa mineira estatal Luossavaara-Kiirunavaara (LKAB), Kiruna desenvolveu-se próspera face à vasta jazida de minério de ferro que se acumula sob a cidade. Agora, no entanto, enfrenta o risco de destruição pelo mesmo fenômeno que criou sua riqueza (O Globo, 2014).

De facto, a mina Kiirunavaara, é a razão pela qual esta cidade sueca, de aproximadamente 20 mil pessoas no norte da Lapónia, existe.

Há mais de um século, os mineiros escavaram tão profundamente a terra (2 km em alguns pontos), que literalmente escavaram por baixo da cidade. As cavernas estão a causar afundamento, a enfraquecer a estrutura dos edifícios e a abrir uma grande fenda na própria terra, que cresce cada ano mais alguns metros em direção a Kiruna, que está prestes a ser engolida pela mina que lhe deu vida. (ZAP.aeiou, 2018).

Em 2004, a empresa informou a cidade que seus dias estavam contados: escavar os seus túneis rumo à cidade num ângulo de 60° em breve provocaria fendilhação e o

colapso de edifícios. Uma década depois, as fissuras começaram a aparecer no chão, cada vez mais próximas do município.

No mesmo ano de 2004, foi criado um plano de intervenção. A Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB), a gigante empresa estatal que operava a mina, decidiu mover a cidade – incluindo as casas. A empresa identificou uma zona ameaçada pela fenda e deu aos moradores três opções: um novo apartamento, vender a casa à empresa pela taxa de mercado com 25% de acréscimo, ou, se possível, carregar a casa num camião e movê-la para uma nova cidade a erguer (ZAP.aeiou, 2018).

A raiz do problema está na chamada “parede de sustentação”, que segura a cidade. À medida que o minério é extraído, os espaços vazios são preenchidos com pedras de desperdício. Mas a sua densidade é consideravelmente inferior à do ferro, levando a enorme massa de terra a exercer uma pressão insuportável e a abrir fendas à superfície. Confirmado o pior cenário, Kiruna começou a emergir para a solução em janeiro de 2007, quando o presidente da câmara apresentou a ideia para a futura cidade.

É desenvolvido um projeto pela empresa de arquitetura contratada, que tem por base mover o “centro” de Kiruna que, na realidade, fica na parte oeste da cidade. O lugar onde a região se situava afundará por completo até 2050. O novo centro vai ser reinstalado a 3,2 quilômetros do extremo leste da cidade, o mais distante possível da mina de ferro (Super Interessante, 2016).



Figura 11 – Ortofotomapa, com a representação do desenvolvimento da deformação à superfície e a sua linha de demarcação previsível em 2050. (Super Interessante, 2016)



Figura 12 – Ortofotomapa, com a projeção da deslocalização completa da cidade em 2099. (Super Interessante, 2016)

O local escolhido foi o sopé da montanha de Luossavaara. Muitas das casas de madeira tipicamente escandinavas serão desmontadas e levadas peça a peça. Outras, que pelo tipo de construção não possibilitam o seu desmantelamento em blocos, serão simplesmente arrancadas do chão e colocadas em cima de camiões. As restantes vão ser demolidas e construídas de raiz. O município prevê construir estradas especiais para transportar edifícios de grandes dimensões (Dinheiro Vivo, 2013).

Em 2014, foi então construído o primeiro quarteirão, três quilômetros a leste. Vinte prédios cruciais foram identificados para serem desmantelados e reconstruídos, peça por peça, na sua nova localização (O Globo, 2014).

5.5.2 Em Portugal

Inúmeros casos de subsidências têm acontecido em Portugal, existindo o registo de alguns dos mais importantes, ou daqueles que maior impacto teve em zonas urbanizadas ou que representassem perigo para pessoas e bens.

Este tipo de ocorrências tem acontecido, independentemente do tipo de minério explorado, ou do tipo de exploração (subterrâneo ou a céu aberto), seja no período extrativo ou no período de pós-extrativo.

- *Germunde (Pejão) – Castelo de Paiva*

A mina de carvão de Germunde, situada no noroeste de Portugal continental, integra-se na bacia do Douro que corresponde a uma estreita faixa de terrenos do Carbonífero continental, com orientação NW-SE.

O método de *"cut and fill"* utilizado na Mina de Germunde até 1966, foi substituído pelo *"sublevel caving"*, com algumas particularidades introduzidas devido a complexa estrutura das camadas de carvão. Neste método, após a exploração de carvão, os desmontes não são preenchidos com qualquer tipo de enchimento, o que provoca o desabamento dos hasteais e a fracturação do maciço rochoso sobrejacente. A propagação da fracturação provocou um acentuado aumento dos danos à superfície (Figura 13), após a introdução deste método (Gaspar, Chaminé, & Silva, 1995).



Figura 13 – Efeitos de uma descontinuidade (“Quebra Vertical”) numa habitação na área de Germunde. (Silva & Chaminé, 1993)

A subsidência mineira induzida pelas aberturas subterrâneas da exploração, é caracterizada pela ocorrência de planos de deslocamento (designados vulgarmente por descontinuidades ou “quebras”), que afloram à superfície do terreno (Silva & Chaminé, 1993). O jazigo apresenta uma geometria muito irregular, com camadas lenticulares muito inclinadas, o que dificultou os trabalhos subterrâneos da exploração, refletindo-se também no tipo de aluimento verificado à superfície (Figura 14).

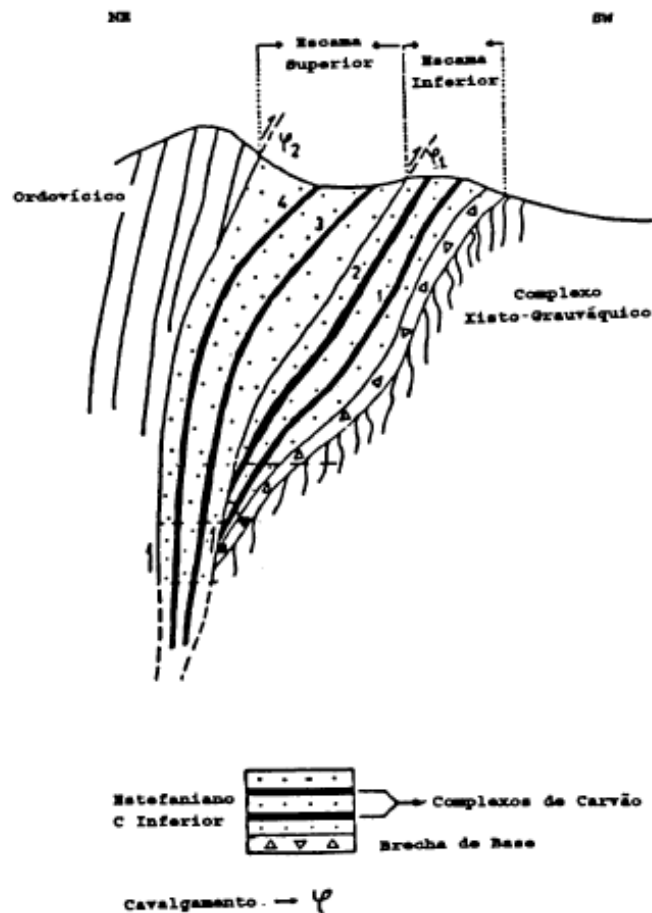


Figura 14 - Corte geológico esquemático da bacia Carbonífera do Douro no sector de Germunde. (WAGNER et al, 1984)

- Molelinhos - Tondela

Na Povoação de Molelinhos (arredores de Tondela) observam-se evidências de subsidência de terrenos que afeta um bairro habitacional numa área com 2000 m². As construções edificadas neste local apresentam danos estruturais importantes, sendo ainda visíveis na periferia das habitações, cavidades que, por vezes, atingem alguns metros de diâmetro e profundidade. Dos estudos efetuados concluiu-se que aquele bairro foi edificado sobre uma antiga exploração mineira de argila a céu aberto, posteriormente colmatada com materiais diversos e de composição lítica e granulometrias incertas. Admite-se que a subsidência atualmente observada na superfície topográfica tenha origem numa deficiente execução da colmatção das cavidades abertas pela exploração mineira (Pereira, Figueiredo, Saraiva, & Dias, 2001).

5.5.3 Em Rio Maior

Desde o primeiro sistema de lavra, adotado em 1919, de talhas sobrepostas com entulhamento, que existem histórias de subsidências, tanto mais quanto os trabalhos eram desenvolvidos na proximidade da superfície no jazigo da lenhite. A disposição das camadas de lenhite, sofrem variações na sua orientação, fazendo com que os mineiros a seguissem e conseqüentemente as galerias, fazendo com que inclusive, por vezes estas vissem mesmo a luz do dia.

Em 1945 é inaugurado o plano inclinado de acesso ao jazigo, o método de desmonte adotado era o desabamento com fuga ou “Long-wall”, visto que este método era tido como um sucesso dado reduzir as perdas de carvão. É com a aplicação deste método de lavra, que surgem as maiores subsidências de que há registo neste couto mineiro, após o plano inclinado e, portanto, com as galerias muito à superfície, sendo estas entivadas com madeira (Figura 15 e Figura 16). Este sistema provocava um maior risco de subsidência à superfície.



*Figura 15 e Figura 16- Subsidências verificadas em dezembro de 1945 em sistema de lavra "Long Wall".
(Figuras 42 a 43 © Nuno Rocha, Arquivo EICEL1920)*

As subsidências verificadas após o encerramento da mina concentram-se em grande medida na área explorada a uma cota mais próxima da superfície e com grande incidência nos terrenos que se estendem desde a entrada do plano inclinado até ao sítio dos Bogalhos e entre a Estrada do Cidral, a Escola Superior de Desporto (que se situa sobre o perímetro de afloramento do jazigo, ou seja, onde uma das camadas de lenhite atingia a superfície), e a zona do Abum (Figura 17).

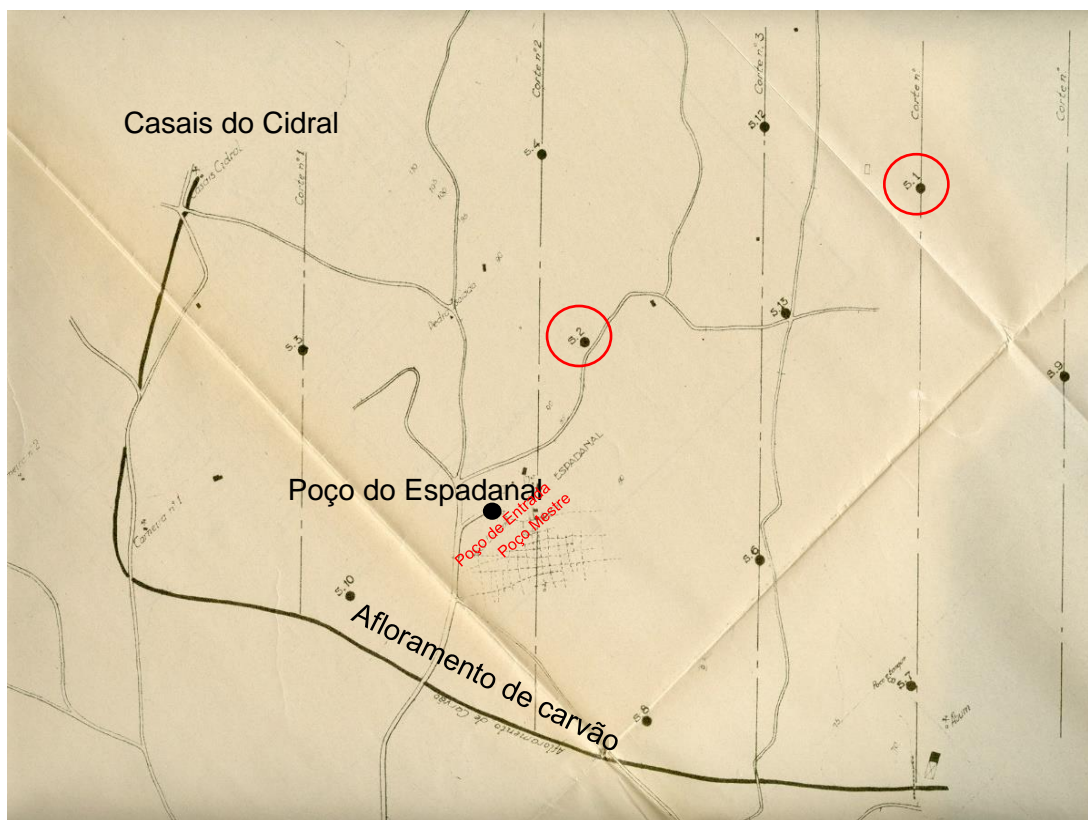
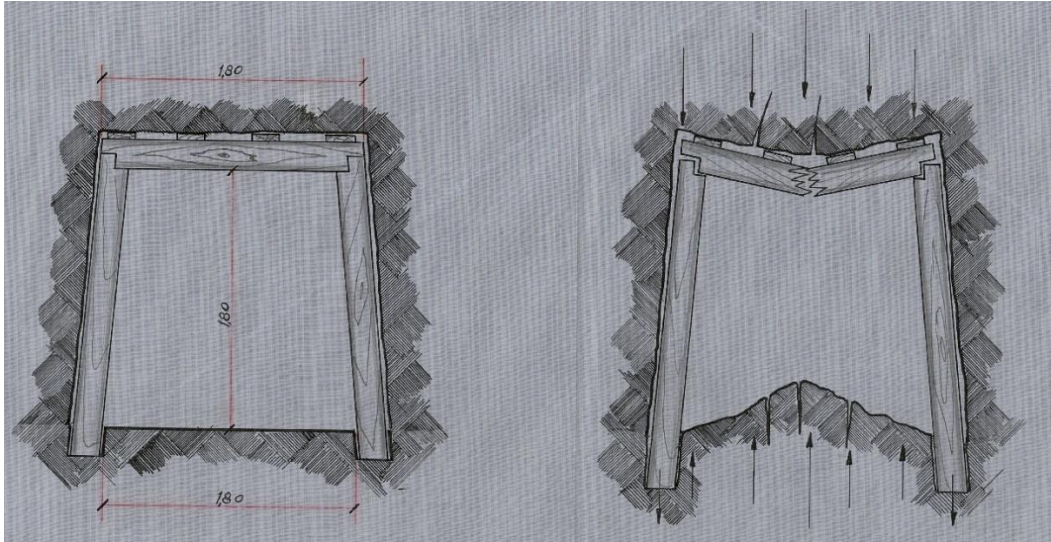


Figura 17 – Planta com a orientação do afloramento da camada de carvão entre o Abum e os Casais do Cidral. (© Nuno Rocha, Arquivo EICEL 1920)

Os terrenos na envolvente do antigo polo administrativo da Mina do Espadanal constituem uma das áreas de mais intensa exploração mineira, como é possível verificar na planta datada de 1959 (Figura 39), sendo atravessados por dezenas de galerias entivadas com toros de madeira de pinho ou eucalipto, que hoje se encontram abandonadas, algumas abaixo do nível freático.

Do Plano de Lavra da Mina do Espadanal de 1959, faz parte o desenho n.º 5, referente ao comportamento dos terrenos, em que é possível constatar a pressão dos mesmos nas galerias e o possível efeito nas mesmas (Figura 18).



*Figura 18 – Pressão dos terrenos nas galerias
(Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal, 1959.04.05 © AHMIN, LNEG)*

Ao longo dos anos 90, apareceram diversas subsidências de grande diâmetro e profundidade na envolvente da área onde hoje se situa o bairro do Espadanal e ao longo da estrada que liga a Rua da Paz e a Rua dos Mineiros e em terrenos situados, entre estas ruas e o lugar de Cidral. Na Rua dos Mineiros, uma grande subsidência surgiu precisamente na estrada, nos anos 80 do séc. XX.

Ao longo dos anos, com as reflorestações periódicas, os proprietários foram regularizando os terrenos com o enchimento das subsidências e respetivos vazios deixados no solo. Um desses proprietários, Sr. José Mota Vargas, apresentou queixa, em 1997, à Delegação Regional de Lisboa e Vale do Tejo do Ministério da Economia, tendo sido feita vistoria ao local (Anexo 1 - Doc.1).

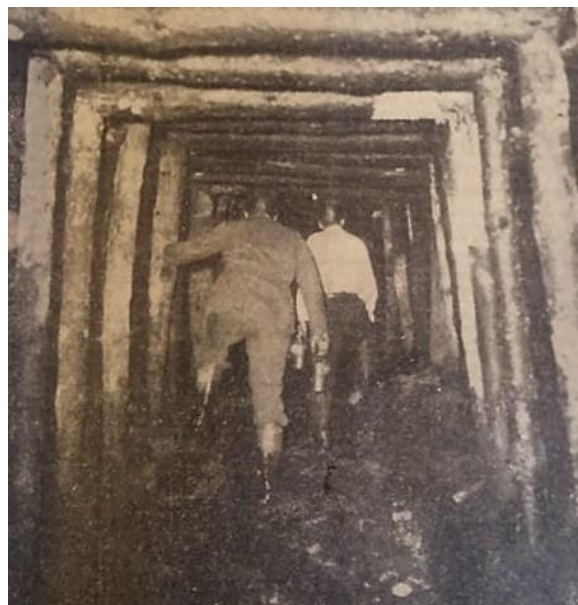
No relatório é enunciado ter-se verificado abatimentos em dois locais, originando buracos de grandes dimensões, com três a quatro metros de diâmetro e bastante profundos, pelos quais se podiam ainda ver a configuração dos antigos trabalhos subterrâneos (Figura 19 e Figura 20)



*Figura 19 e Figura 20 - Subsidiências verificadas em 1997
(Documento 1997.05.27 - © AHMIN, LNEG. Reprodução por Nuno Rocha, Arquivo EICEL1920)*

Constata-se que os trabalhos subterrâneos, se aproximaram muito da superfície e o maciço de proteção não era suficiente. Conclui-se ser perigosa a circulação naqueles terrenos, de máquinas agrícolas ou outras e poderá mesmo representar perigo para pessoas ou animais.

Ao longo dos anos, foram-se verificando casos de subsidência, em diversos locais, originando depressões e cavidades no solo, sendo que algumas, engoliam árvores e deixavam à vista algumas das madeiras estruturais, como da Figura 21, em galerias de exploração de afloramento perto da superfície.



*Figura 21 – Estrutura de suporte em madeira, de uma das galerias da mina do Espadanal
(in suplemento económico do Diário Ilustrado de 21 de junho de 1958, Foto: Félix Bragança)*

5.4 Técnicas de investigação da subsidência mineira

5.4.1 Levantamentos topográficos

Os elementos topográficos, são de extrema importância na investigação da subsidência mineira, pois procedendo-se periodicamente a novos levantamentos, pode ser estabelecida uma comparação com registos anteriores e cartografia mais antiga, relacionando-se os resultados obtidos e analisando-se a evolução quanto a alterações do relevo e ao aparecimento e/ou aumento de subsidências verificadas.

5.4.2 Detecção remota a partir de imagens de satélite

Os avanços na geodesia verificados nos últimos anos, refletem a necessidade crescente do conhecimento dos processos físicos e dinâmicos da Terra, sendo que muitos destes processos se manifestam à superfície terrestre de uma forma abrupta e perigosa para a população que habita nas suas proximidades, como é o caso das subsidências, derivadas da exploração subterrânea de minas de carvão.

Se bem que os métodos clássicos da geodesia possam dar um elevado contributo para a monitorização destes fenómenos, as técnicas de detecção remota surgem como um complemento essencial nos estudos de geodinâmica. Como tal, a tecnologia desenvolvida na área das ciências da Terra e do Espaço centrou-se, nas últimas décadas, no aperfeiçoamento de sistemas de observação e medição da Terra, onde o rigor, a amostragem espacial e a regularidade das observações primasse em relação a qualquer outro fator. As técnicas de geodesia espacial tais como o Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System, GPS) ou a Interferometria Radar de Abertura Sintetizada (Synthetic Aperture Radar Interferometry, InSAR) estão particularmente bem adaptadas para responder a este tipo de critérios e nomeadamente à capacidade da cobertura de fenómenos de pequena e grande escala (Catita, 2007).

Na interferometria SAR, a radiação da banda das micro-ondas abrange comprimentos de onda entre 1 mm e 1 m e tem várias aplicações em detecção remota. Os radares são sensores ativos de micro-ondas, ou seja, o próprio sensor emite um feixe de radiação eletromagnética em direção à superfície terrestre, que depois é refletida pelos elementos da superfície e captada pelo sensor. Estes sensores podem ser instalados noutras plataformas, nomeadamente aéreas, tais como aviões, veículos aéreos não tripulados (VANT) ou terrestres, como estruturas móveis instaladas em carris.

A radiação micro-ondas é pouco afetada pela dispersão atmosférica, o que possibilita a observação da superfície terrestre mesmo na presença de nuvens. Os radares são independentes da luz solar, uma vez que é o próprio sensor que emite a radiação, pelo que a aquisição de imagens pode ser efetuada tanto durante o dia como durante a noite. As imagens radar têm duas dimensões, azimute (direção da trajetória da plataforma) e alcance oblíquo (direção da linha de vista do sensor, que é perpendicular à trajetória e oblíqua em relação à superfície terrestre), representadas na *Figura 22*. A radiação micro-ondas emitida pelo sensor é refletida pelos elementos existentes numa pequena área da superfície terrestre (célula de resolução) e o eco é recebido pelo sensor, ficando registada, na forma de um número complexo, a informação da amplitude e da fase da radiação refletida (Ferretti et al., 2007). As técnicas de InSAR são aplicadas à informação da fase. No caso de ser considerado um único alvo no interior da célula de resolução, a fase da radiação “ Φ ” pode ser relacionada com a distância “ R ” entre esse alvo e o sensor através da equação 6, onde “ λ ” é o comprimento de onda da radiação,

$$\phi = (4\pi / \lambda) \times R \quad \text{Eq. 7}$$

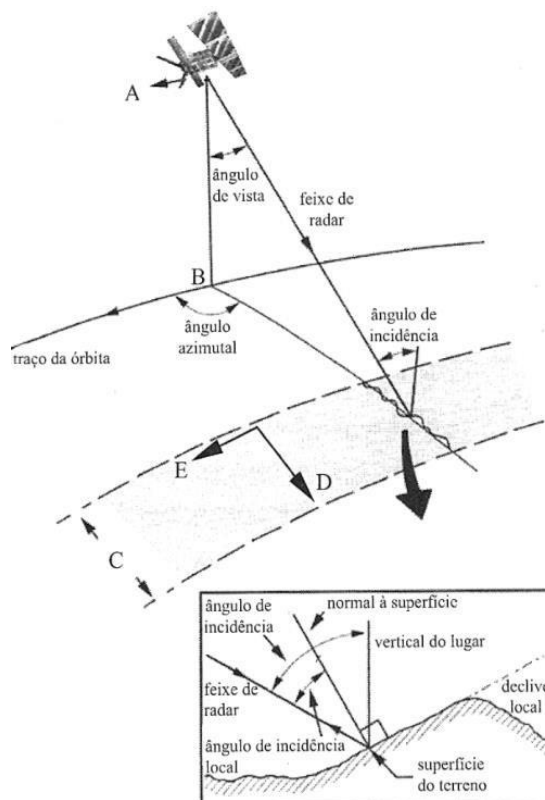


Figura 22 – Geometria de aquisição de imagens radar (Fonseca e Fernandes, 2004)

Se a plataforma transportar duas antenas recetoras ou se a mesma antena repetir a passagem pela mesma área geográfica e com a mesma geometria de aquisição, é possível construir uma imagem da diferença de fase entre duas épocas – interferograma. Esta técnica é denominada InSAR diferencial (differential interferometric synthetic aperture radar – DInSAR) (Roque, 2016). Na *Figura 23*, apresentam-se 3 interferogramas obtidos em anos consecutivos para uma mesma área com o objetivo de monitorizar a subsidência numa mina em França.

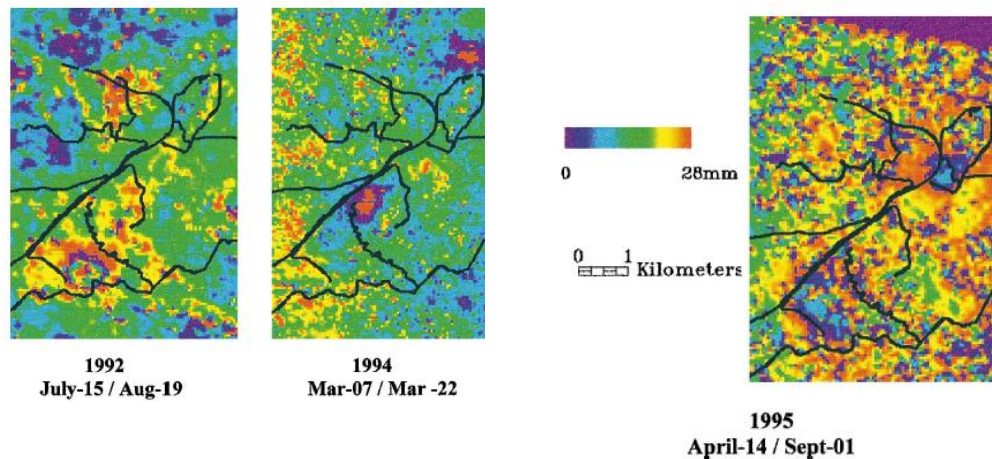


Figura 23- Exemplo da Relação entre Interferogramas, obtidos em 3 anos distintos, na mesma zona, para monitorização de subsidências de uma mina perto de Gardanne, em França (Carnec & Delacourt, 2000)

5.4.3 Geofísica – georradar

A utilização do GPR - “Ground Penetrating Radar”, ou Georadar, foi selecionada, por se tratar de um ensaio não destrutivo de prospeção geofísica, facilmente aplicada a pavimentos rodoviários.

A geofísica é uma técnica de estudo que se serve das leis da física para estudar a Terra e de grande utilidade não só a grandes profundidades como perto da superfície. Existem vários métodos de geofísica uteis na identificação de cavidades em profundidade, como por exemplo a sísmica de refração. Neste trabalho recorreu-se ao equipamento de Georadar da Universidade de Coimbra (Departamento de Ciências da Terra).

O Georadar é uma técnica de inspeção não destrutiva baseada na emissão de ondas eletromagnéticas, através do solo e em materiais de construção, e na receção das reflexões originadas por objetos e camadas de materiais distintos. A gama de aplicações é muito vasta, sendo utilizada na inspeção de materiais diversos. Várias

antenas permitem a sua aplicação na resolução de problemas de natureza muito diversificada, desde aplicações estruturais a geotécnicas. A utilização do Georadar na engenharia estrutural é relativamente recente. Em Portugal, o Georadar tem sido aplicado na resolução de problemas estruturais e na prospeção de infraestruturas enterradas (Fernandes, 2007)

O Georadar é utilizado frequentemente para deteção dos seguintes materiais ou infraestruturas:

- Estruturas rochosas e solos (camadas de solo, rocha, aterros);
- Cavidades e fraturas (grutas, fendas, abatimentos);
- Águas subterrâneas (níveis freáticos, infiltrações de água);
- Estruturas enterradas (tubagens, condutas, cabos);
- Estruturas construídas (espessura/estado de pavimentos, paredes, armaduras);
- Elementos arqueológicos.

Um sistema moderno de Georadar é constituído pelos quatro componentes: unidade de controlo, antena(s), unidade de visualização e unidade de armazenamento de dados. A unidade de controlo gera e configura o sinal, enquanto que as antenas emitem a radiação eletromagnética, registam as reflexões e a transformam em informação digital, conseqüentemente armazenada em dispositivo próprio para posterior processamento.

As antenas, provavelmente o elemento mais importante de um sistema de Georadar, são caracterizadas pela sua frequência central f , situada, tipicamente, num intervalo de frequências bastante largo, de 10 a 2000 MHz. A seleção da frequência da antena depende do tipo de aplicação, profundidade e dimensões dos alvos potenciais e do tipo de ambiente do local. Para dar uma ideia das frequências e das suas possibilidades de utilização, a Tabela 4 ilustra diversas aplicações, resoluções esperadas e profundidades de penetração típicas de antenas, em condições adequadas de propagação (Fernandes, 2007).

Tabela 4- Características comuns das antenas de radar

Frequência (MHz)	Penetração (m)	Resolução	Aplicações correntes
10 a 50	10 a 50	Baixa	Geologia, geotecnia mineira e ambiente
100	5 a 20		
200	2 a 7	Baixa a média	Geotecnia, ambiente e engenharia
500	1 a 4	Média a alta	Engenharia
1000	0,5 a 1,5	Alta	
>1500	0,4 a 0,5	Muito alta	

Fonte: (Fernandes, 2007)

O modo de operação mais utilizado é o modo de reflexão, em que o emissor irradia o meio em análise com energia eletromagnética e o recetor recebe os ecos refletidos pelas interfaces entre materiais com diferentes características dielétricas. O emissor e recetor, geralmente fisicamente localizados num mesmo “contentor” blindado, são mantidos a uma distância constante e deslocados sobre a superfície a investigar (Figura 24). O sistema obtém o tempo que a onda de rádio demora a percorrer a distância entre o emissor, a interface refletora e o recetor, geralmente designado por tempo de viagem de ida e volta, i.e. “Two-Way Travel-Time”, sendo expresso em nanossegundos (ns). Nas diferentes posições são obtidos traços, que representam a evolução da amplitude do sinal emitido pela unidade ao longo da profundidade, que quando justapostos formam um diagrama de radar ou radargrama (Fernandes, 2007).

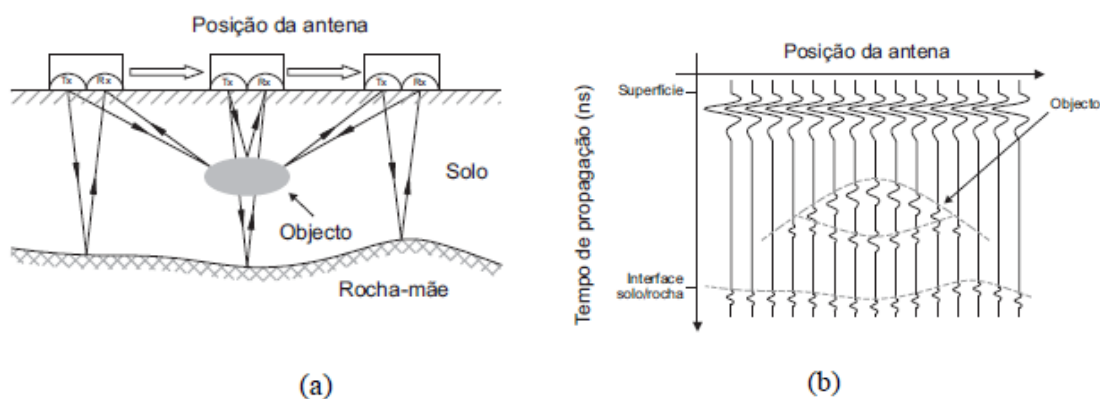


Figura 24- Aquisição de dados no terreno em modo de reflexão. a) Metodologia de aquisição; b) Radargrama resultante (Fernandes, 2007)

A penetração da onda eletromagnética depende da frequência de transmissão e propriedades elétricas do meio em que se propaga, de forma que, com antenas de baixa frequência, alcança-se melhor penetração do que com antenas de alta frequência, sacrificando a resolução lateral no processo. Da mesma forma obtém-se uma boa penetração em materiais que sejam pobres condutores (areia seca, granito, calcário, cimento) já que a atenuação do sinal de radar em materiais condutores, tais como areias argilosas, é muito maior.

6. Caso de Estudo - A Mina do Espadanal

6.1 Enquadramento geográfico e geológico

A cerca de 80 km a Norte de Lisboa, 30 km de Santarém e a 20 km de Caldas da Rainha, a cidade de Rio Maior é sede do concelho (Figura 25), com o mesmo nome, que ocupa uma área de 277,4 km², integrado numa zona denominada de “Estremadura Ribatejana”, de fronteira ou transição entre o Ribatejo e o Litoral. Com altitudes por norma inferiores a 500 m, o concelho apresenta no seu limite a Norte, a Serra dos Candeeiros, com um variado número de grutas e algares naturais e a Sul a influencia das planícies ribatejanas.

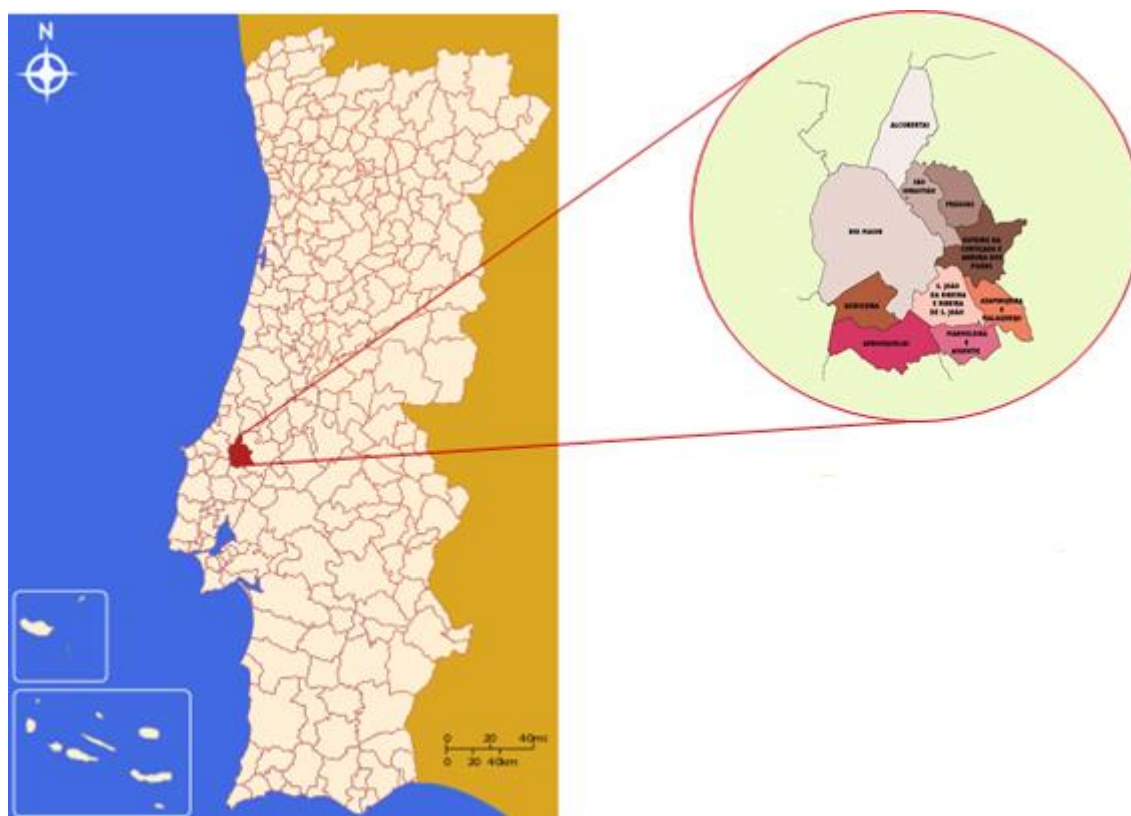


Figura 25- Enquadramento geográfico do concelho de Rio Maior, no território continental

As várias linhas de água que percorrem o seu território, constituem uma rede hidrográfica de dimensão considerável, destacando-se o rio que dá nome à cidade e concelho: o rio Maior.

Do ponto de vista geológico, a região de Rio Maior caracteriza-se pela ocorrência de rochas sedimentares do Mesozoico e do Cenozoico. Pertencem ao Mesozoico as rochas carbonatadas do Maciço Calcário Estremenho na parte NW do concelho e ao

Cenozoico as rochas detríticas pertencentes à Bacia Terciária do Tejo. A zona em estudo está localizada em terrenos do Cenozoico. Na Figura 26 apresenta-se um esboço da carta geológica da zona em estudo.



Figura 26- Enquadramento geológico do local
(excerto da Carta Geológica 26-D – Caldas da Rainha s/ escala)

Dos terrenos do Cenozoico destacam-se os terrenos aluvionares, as Formações do Pliocénico e do Miocénico.

Os terrenos mais recentes que afloram na zona em estudo são terrenos aluvionares que se desenvolvem no vale da ribeira de Rio Maior que segundo (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960) as aluviões apresentam uma espessura que pode atingir os 12m a jusante da cidade. Segundo a mesma fonte nesta zona a base das aluviões é constituída por cascalheiras que depois são cobertas por argilas pouco espessas. Na zona da Mina do Espadanal há registo da ocorrência de tufos calcários pós-wurmianos (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960). Na carta geológica de Caldas da Rainha, estão cartografados terraços quaternários bem desenvolvidos nos vales da ribeira de Rio Maior e da ribeira de Penegral (a E de Rio Maior) e também a S na estrada Rio Maior – Alcanede, neste último há referência a elementos lignitosos na base do terraço, (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960).

O Pliocénico aparece representado na Bacia de Rio Maior⁴ por dois complexos sedimentares sobrepostos, de cima para baixo:

⁴ Bacia de Rio Maior - depressão escavada pela erosão fluvial durante o Miocénico superior

- a formação dos lignitos e diatomitos do Espadanal
- as areias caulíníferas inferiores

Estas formações do Pliocénico apresentam grande interesse económico. Constituem grandes reservas de areias siliciosas, muito puras, aproveitadas para a indústria e vidreira e um importante jazido de lignitos.

A bacia de Rio Maior tem cerca de três quilómetros de comprimento por um quilómetro de largura, possuindo um dos bordos levantados para W, onde a lenhite aflora.

Na zona central da bacia, o conjunto sedimentar atinge uma espessura na ordem dos 120 m, assentando em areias brancas, siliciosas e caulíníferas (Figura 27). As lenhites, cuja espessura é maior no centro da bacia onde atingem uma possança de 5 a 7 m, são pouco incarbonizadas e com teores de humidade e cinzas muito elevados (Rocha N. A., 2010).

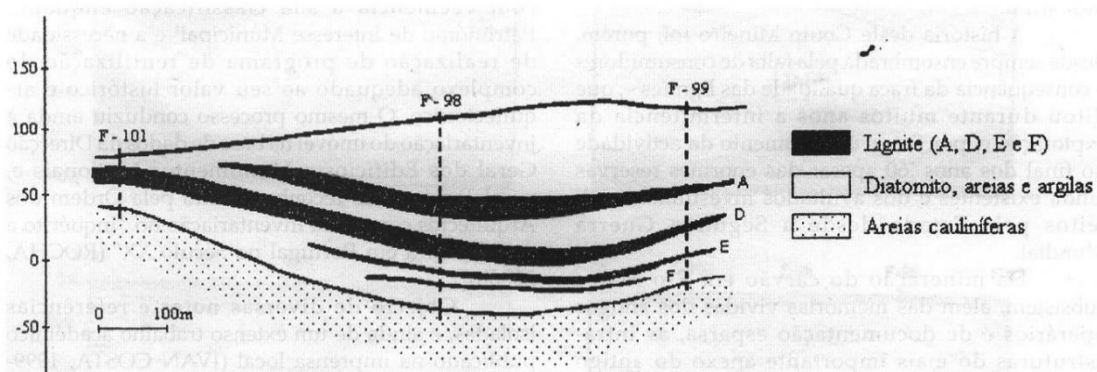


Figura 27 - Corte transversal esquemático do jazido do Espadanal, destacando-se as principais camadas de lenhite.

(Rep. de Flores 1997) (<https://www.mindat.org/loc-233190.html>, s.d.)

O Miocénico em Rio Maior aparece representado por grés, argilas e calcários no designado Complexo de Vale de Óbidos. Este complexo apresenta-se dividido em duas séries sobrepostas, de cima para baixo: a série de grés, argilas e calcários pontianos com fauna de moluscos terrestres e de água doce e a série greso-argilosa inferior.

A série de grés, argilas e calcários, a SE de Rio Maior, apresenta dois horizontes de calcários separados por areias, por grés e por argilas. Estes calcários em algumas zonas apresentam-se cortados por várias falhas. Apresentam pendores variados podendo ir até aos 50°NE em Freiria de Rio Maior.

A série greso-argilosa inferior manifesta-se a SE de Rio Maior pelo afloramento de grés argilosos, avermelhados ou acinzentados assentes sobre o complexo

oligocénico. A W de Rio Maior esta série apresenta também tons amarelados por vezes com numerosos calhaus rolados (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960). Em outros locais próximos a série assenta diretamente sobre o Jurássico (em Moinho de Figueiras) ou sobre o Cretácico (em Venda das Bairradas).

Do ponto de vista tectónico a região apresenta-se fortemente influenciada pela tectónica salífera. A NNW de Rio Maior destaca-se o vale tifónico de Fonte da Bica onde aflora uma estreita faixa de terrenos greso-salíferos, em resultado de importantes acidentes, fraturas, no flanco oriental da dobra em anticlinal que é a Serra dos Candeeiros. Em Rio Maior destacam-se duas falhas importantes, a W de Rio Maior uma falha que corta o Miocénico levantando camadas calcárias a sul de Freiria de Rio Maior e a Leste uma outra falha, a falha do Cidral, que põem em contacto as formações jurássicas, cretácicas e oligocénicas com as do Pliocénico. São estas duas falhas as responsáveis pela bacia dos lignitos e diatomitos de Rio Maior.

6.1.1 As formações do Pliocénico em Rio Maior

Formação de lenhites e diatomitos do Espadanal

A Formação de lenhites e diatomitos está localizada numa pequena dobra (em sinclinal) de orientação NW-SE limitada a E pela falha do Cidral. De acordo com a notícia explicativa da carta geológica (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960), regista-se a seguinte sucessão e cima para baixo:

- Cobertura greso-argilosa com calhaus rolados;
- Espessas camadas de diatomito com intercalações argilosas;
- Massa principal de lenhite;
- Complexo de camadas de diatomito escuro e de pequenos leitos de lenhite;
- Areias finas, cauliníferas, amarelas ou esbranquiçadas.

A principal camada de carvão encontra-se à profundidade média de 70 m.

O diatomito do Espadanal é constituído por organismos microscópicos, predominando carapaças de diatomáceas e espiculas de esponjas, com cerca de 80% de sílica (Zbyszewski & Moitinho de Almeida, 1960).

Esta Formação constitui um jazigo de lenhites com cerca de 35 milhões de toneladas, dos quais 30 milhões são exploráveis economicamente (Rodrigues, 1986).

Areias caulíferas inferiores

Complexo arenoso de areias caulíferas de cor branca, rosada ou avermelhada, de camadas que inclinam 10°SE, intercaladas com argilas amareladas ou cinzentas e alguns conglomerados. Entre Rio Maior e Quinta do Alecrim estas areias aparecem cortadas por várias falhas e a cobrir calcários do Miocénio. Também aparecem sob o complexo dos lenhites e diatomitos na zona da Mina do Espadanal.

6.2 O jazigo de lenhite

O jazigo sedimentar de lenhites de Rio maior, situado a NW de Rio Maior, teve origem na sedimentação de material vegetal diverso, em meio pantanoso, numa subsidência, durante o Pliocénico. As camadas irregulares de lenhites alternam de maneira aleatória, com outras camadas mais desenvolvidas de diatomitos e areias e algumas argilas e grés, correspondentes a variações de profundidade relativamente pequenas. Estas argilas e grés constituem o substrato do jazigo. Iniciado o ciclo do carvão com a formação das lenhites, durante o Pliocénico, faltou tempo e pressão para que estas lenhites se pudessem transformar em carvão fóssil de boa qualidade. O grande fenómeno geológico, dentro do qual se formaram os lenhites e diatomitos, consistiu na depressão progressiva da bacia de Rio Maior, limitada a nordeste por uma falha NW-SE, correspondente a cerca de 320ha na superfície, e no seu enchimento, também progressivo, por sedimentos. As circunstâncias foram tais que permitiram, durante uma parte do tempo, a sedimentação de material que deu origem aos lenhites e diatomitos em camadas separadas e alternadas entre si e com outros sedimentos.

Segundo a planta da concessão do Espadanal n.º1, foram feitas diversas sondagens, denominadas Poço Mestre, Poço de Entrada, Sondagem S1 e Sondagem S2 (Figura 28).

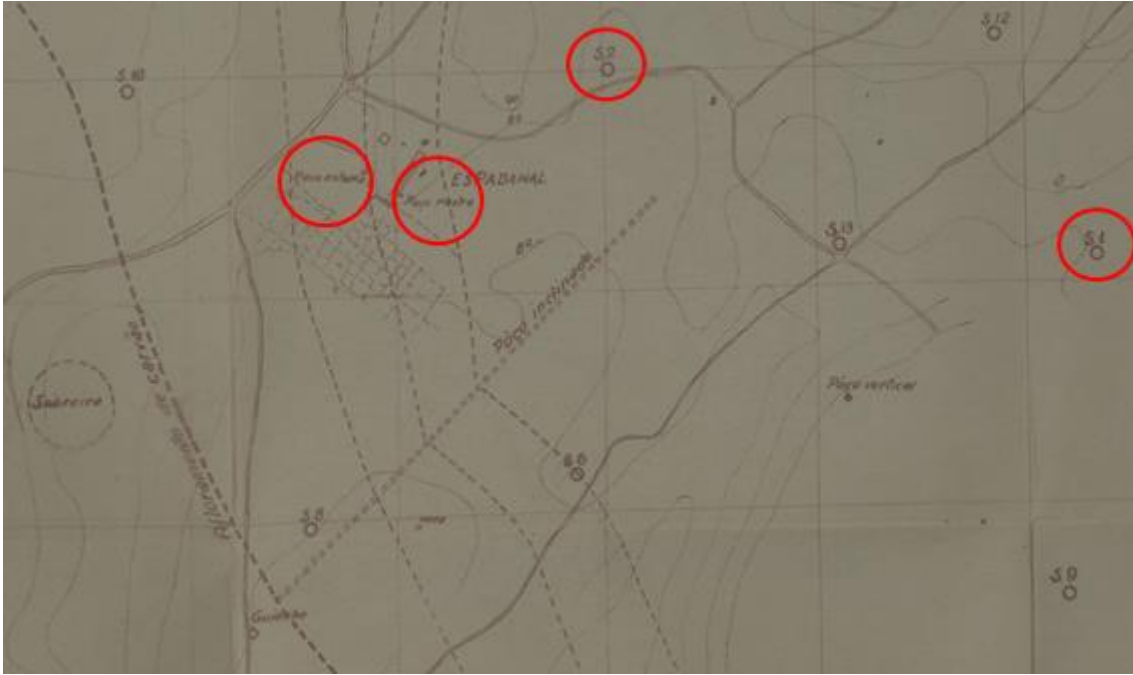


Figura 28 – Planta da concessão do Espadanal n.º1, com marcação do Poço Mestre, Poço de Entrada, Sondagem S1 e Sondagem S2 (s/ escala (Rep. de C. Sanches 1943), AHMIN, DGEG)

Nas Figuras 29 e 30 apresentam-se os cortes geológicos resultantes das sondagens da planta da concessão. Pode verificar-se que o carvão assenta em trípoli⁵ nalguns pontos e em areia noutros. A cobrir a camada de carvão, verifica-se também a existência de Trípoli, em grande espessura até perto da superfície, onde este é quase sempre coberto por terras aráveis, exceto nalguns pontos onde o trípoli aflora.

O objeto da presente dissertação centra-se no couto mineiro do Espadanal, no entanto existiu em simultâneo outra exploração pela empresa concessionária de um segundo couto mineiro, para extração de diatomitos ou trípoli. A subsidiência neste segundo couto mineiro de Rio Maior não tem tido relevância até ao momento.

⁵ Trípoli – depósito sedimentar constituído por esqueletos siliciosos de diatomáceas (diatomito). Esta designação vem de depósitos semelhantes encontrados nos arredores de Trípoli, a Líbia.

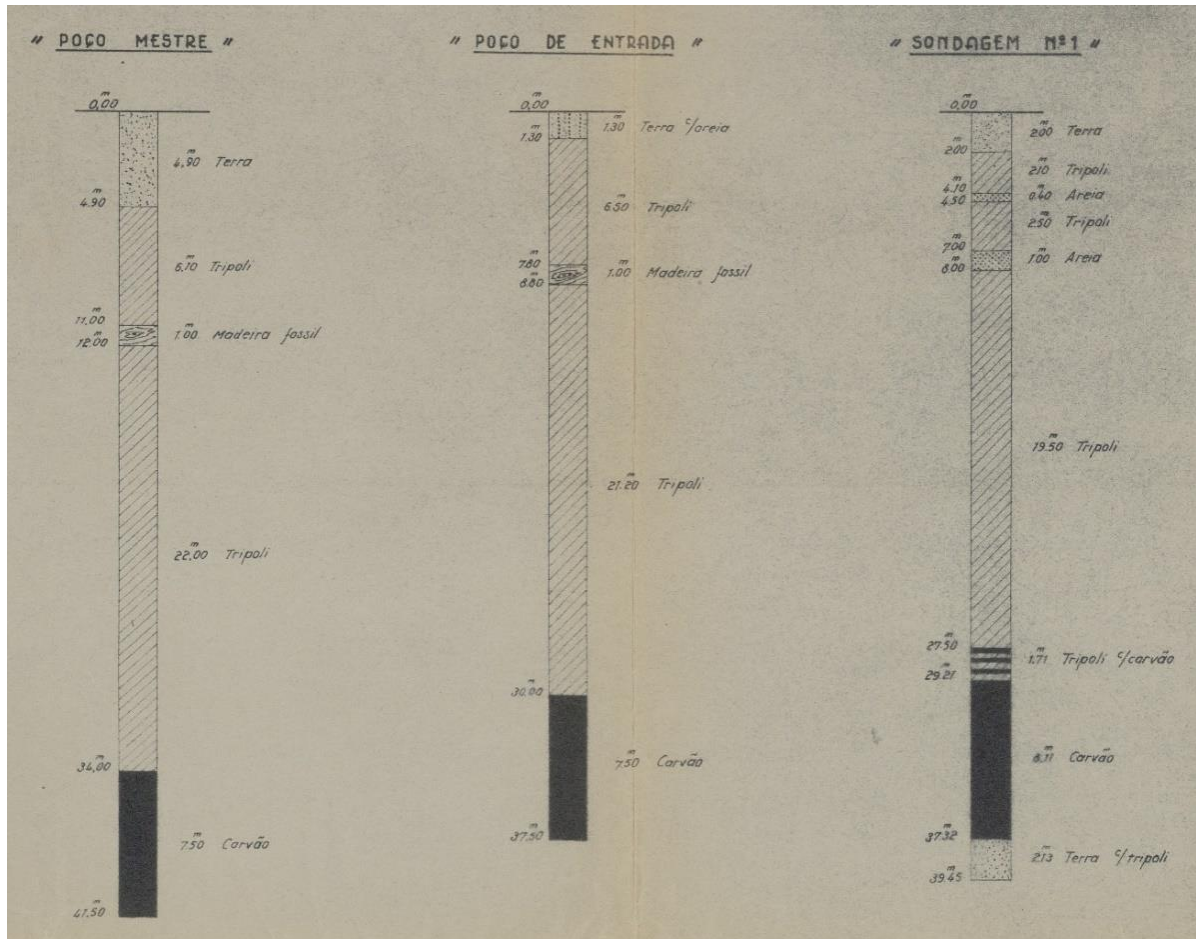


Figura 29 – Cortes geológicos das sondagens realizadas (com identificação das camadas geológicas) no Poço Mestre, Poço de Entrada e S1 - Sondagem n.º1 (s/escala, (Notas sobre o Couto mineiro do Espadanal, janeiro de 1941, AHMIN, DGEG))

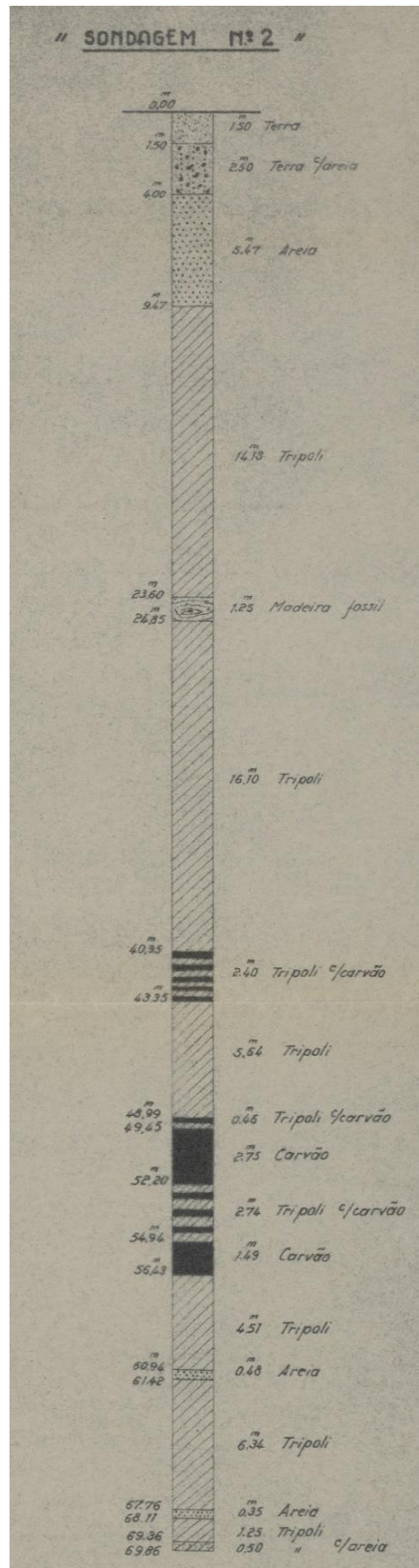


Figura 30 – Corte geológico da sondagem realizada no ponto S2 - Sondagem n.º 2 (s/escala (Notas sobre o Couto mineiro do Espadanal, janeiro de 1941, AHMIN, DGEG))

6.2.1 Caracterização da exploração

O couto mineiro do Espadanal, em Rio Maior, é uma exploração subterrânea de lenhite, constituído pelas minas de carvão denominadas Espadanal n.º1, Espadanal n.º2 e Ponte de S. Gregório (Tabela 5), com a área aproximada de 286 hectares, demarcada por um decágono irregular, pela circunscrição mineira do Sul a 12 de agosto de 1927, representando hoje mais de 10 km de galerias no jazigo do Espadanal e que esteve ativa entre 1918 e 1969.

Tabela 5- Bacia de lenhites e diatomitos de Rio Maior: Identificação por Couto mineiro. Fonte: (Cunha, et al., 2012)

Localização		Minas			Agrupamento em Couto Mineiro		
Concelho	Freguesia	Ano de concessão	N.º	Designação	Designação	N.º	Ano de Demarcação
Rio Maior	Rio Maior	1918	786	Espadanal	Espadanal	17	1927
		1927	1580	Ponte de S. Gregório			
		1918	792	Quinta da Várzea	Quinta da Várzea	18	1927
		1927	1579	Lobo Morto			

Segundo a “Informação sobre o projeto de alteração do sistema de extração do Couto Mineiro do Espadanal”, de 19 de agosto de 1957, do Engenheiro Chefe Guilherme de Castro Leandro da Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos (D.G.M. e S.G.) da circunscrição mineira do Sul, não havia propriamente um plano de lavra aprovado para este couto mineiro, mas apenas para a mina do Espadanal n.º1, onde o principal volume de trabalho se situava, tendo sido aprovado por portaria publicada no Diário do Governo n.º233 – II série – de 21 de outubro de 1920. Segundo o referido plano a extração era feita por um poço vertical com a secção de 4mx2m e dividido em 3 compartimentos, sendo 2 deles destinados à extração e o outro à circulação de pessoal. O carvão era carregado em cubas de 500 litros, transportadas sobre zorras até à boca do poço mestre e guindadas até à superfície, onde eram despejadas para vagonetas.

A extração efetuou-se por este poço, denominado Poço Mestre, até 1945, ano em que começou a funcionar o plano inclinado. Em março de 1942 o Eng.º Monteiro Conceição, no seu “Estudo de Exploração das Minas de Rio Maior”, preconizava a execução de um plano inclinado e de 2 poços verticais, a par do Poço Mestre, que devia ser reparado e remodelado. Todos estes trabalhos visavam aumentar a capacidade de

extração do Couto Mineiro do Espadanal de forma a corresponder às necessidades de emergência daquela época.

Todavia, o plano inclinado, só começou a trabalhar em 18 de abril de 1945, tendo extraído durante esse ano cerca de 46 400 toneladas de carvão. No ano de 1945, ainda foram extraídos pelo Poço Mestre, cerca de 12 200 toneladas, deixando de funcionar nos anos seguintes, sendo posteriormente entulhado. Em alguns anos foi feita extração, embora em escala reduzida, pelo “Poço dos Bogalhos”, situado na concessão do Espadanal n. 02. Este Poço foi posteriormente destinado apenas a esgoto da Mina.

O Plano Inclinado foi remodelado com a intenção de se extrair pelo menos 40 toneladas por hora. O Plano Inclinado, batizado de “Engenheiro Cílio Rosa”, tinha uma extensão de 386,22 m compreendendo os traineis enumerados a partir da superfície apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 – Variação da inclinação do Plano Inclinado ao longo da sua extensão

Traineis	Comprimentos (m)	Inclinações	
		%	Graus
1º	67,33	16,14	9° 10'
2º	96,94	12,94	7° 20'
3º	87,11	10,86	6° 10'
4º	92,41	8,94	5° 5'
5º	42,43	7,25	4° 10'

Ao 5º trainel segue-se no interior, um patamar com 90 m de comprimento e 10 m de largura, que constitui a receita inferior. Esta receita, tem o piso de betão armado para atender a pressões inferiores, sendo os hasteais e os tetos formados por uma abóbada, de secção semicircular, construída de tijolos maciços. De 5 em 5 m, foram colocados anéis de betão armado envolvendo toda a secção. Nesta receita foram colocadas 3 vias, sendo as duas externas destinadas às vagonetas cheias e a central, destinada às vagonetas vazias.

O Plano Inclinado, entretanto, remodelado, contava com 2 vias e abobada em tijolo numa extensão de 45 m a contar da boca.

O jazigo apresentava uma forma em bacia elítica regular, com o eixo maior orientado a SE, tendo um dos bordos levantados para poente, onde a lenhite aflora. A inclinação da camada é de 9° para nascente, junto ao afloramento, desce para 4° e passa a ser completamente horizontal (Braga, 1960). A camada é bastante uniforme

quanto a possança, 5m em média, sendo mais reduzida junto ao afloramento, surgindo por vezes intervalada por diatomito.

Os terrenos do teto, são quase exclusivamente compostos por lenhite, apresentando por vezes intercalações de diatomito. O máximo de cobertura da camada é de 60 m. O muro é constituído por camadas de diatomito de pouca possança assentes em areia, geralmente com água sob pressão, ou só por areia.

O método de lavra adotado na altura era por desabamento, considerando que economicamente seria o único aceitável, contudo admitia que as características do jazigo, não estavam de acordo com algumas das condições em que se aconselha a sua aplicação. O teto era pouco plástico, a cobertura é pequena, desde poucos metros até 60m, a camada é possante (5m) e finalmente, tratava-se de um jazigo de carvão com perigo de incendio. Contudo, devido à vantagem económica, foi ensaiado e já se encontrava em aplicação desde 1945, tendo-se verificado que o teto carregava lentamente, quando desabava, avisando com antecedência necessária à segurança do pessoal.

Segundo o “Estudo de exploração das Minas de Rio Maior” (Conceição, 1942), a avaliação do jazigo na parte reconhecida foi feita em 4 800 000 m³ de carvão, o que equivale a cerca de 4 000 000 toneladas de carvão com 20% de humidade. Havia a indicação da existência de uma possante camada de lenhite (cerca de 7m), mas era mal conhecida a sua continuidade.

Este tipo de minas, apresentam diversos tipos de problemas de segurança, tanto para as próprias estruturas como para os trabalhadores, como: subsidências, derrocadas internas, tipo de iluminação, posição dos níveis freáticos, drenagens subjacentes, a própria ventilação. A ventilação nas minas de carvão reveste-se da maior gravidade devido ao risco de combustão do próprio carvão, e a acumulação de gás de grisú⁶ (Costa, 1999/2000).

⁶ Grisú - é uma mistura do CH₄ (Metano – Gás Natural), que ocorre naturalmente nas minas de carvão, com o O₂ (Oxigênio) do ar, formando em ambientes fechados uma mistura explosiva que detona facilmente na presença de chamas ou centelhas, e constituía um grande perigo na mineração de carvão. (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Grisu>)

6.2.2 Período de funcionamento

Desde finais do séc. XIX, que houve tentativas de exploração de carvão em Rio Maior. A primeira tentativa de exploração, foi feita na Caniceira, em 1890. Em 1909, foram feitas pesquisas para exploração quer no lugar de Caniceira e quer na Quinta da Várzea.

Em 1914-1918, por altura da 1ª Guerra Mundial, devido à falta de combustíveis, o Estado viu-se na necessidade de recorrer à exploração de carvões nacionais. (Duarte, 1979)

Os primeiros registos de exploração mineira e extração de carvão em Rio Maior, datam de 1915. Em 1916 foi feito o registo da mina do Espadanal por António Custódio dos Santos procedendo-se à abertura do poço mestre. A extração teve início por volta de 1918 e durante os dois primeiros anos a tonelagem de exploração foi de cerca de 600 toneladas por ano. Entretanto terminada a guerra a extração manteve-se até 1934, com algumas interrupções. A partir de então a extração passou a fazer-se com maior tonelagem, atingindo as 7000 toneladas em 1941.

A exploração da Mina do Espadanal foi pouco intensiva até ao início da 2.ª Guerra Mundial. Estes recursos, que desde o séc. XIX haviam suscitado bastante interesse, mas que sempre tinham sido pouco aproveitados, encontram na década de 40, com a necessidade de recurso a carvões nacionais, um novo impulso com o desenvolvimento das minas de lenhite. Devido à escassez de combustível, quer pelo preço elevado para importação, quer pelo cerco imposto pela guerra, o jazigo passou a ser considerado reserva nacional, tendo então aumentado a intensidade de exploração. Este aumento da intensidade da exploração implicou grandes investimentos, quer na renovação de equipamentos quer na construção de infraestruturas. Entre estas intervenções destaca-se o plano inclinado de acesso às galerias, que, em 1945 permitiu que a extração se efetuasse a partir de um único ponto (Figura 31).

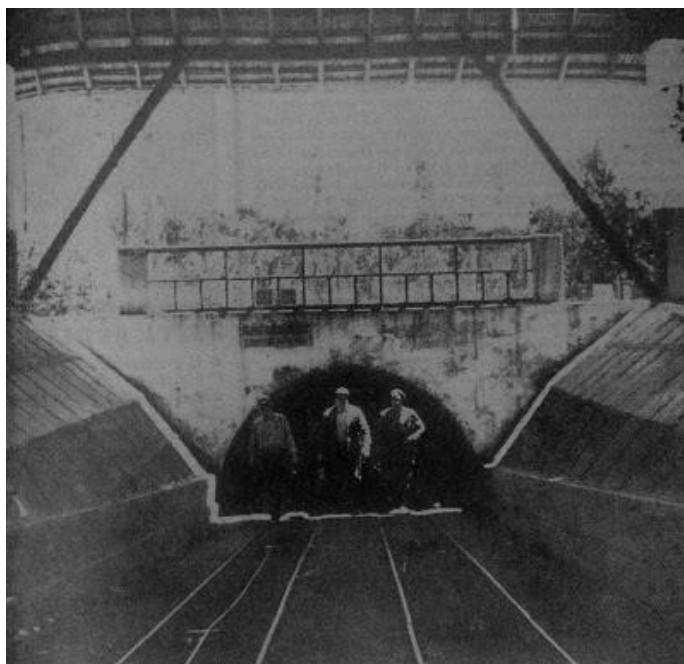


Figura 31- Plano Inclinado de acesso às galerias da Mina do Espadanal. Fotografia de Félix Bragança. Diário Ilustrado 28.06.1958, in http://rio-maior.blogspot.pt/2008/07/i-jornada-do-patrimnio-mineiro_05.html

A lenhite da Mina do Espadanal era considerada pobre (com alto teor em cinzas) e com 50% de humidade, o que exigia métodos de secagem com vista à sua valorização económica e aumento das possibilidades da sua utilização. Houve necessidade de instalar uma unidade de secagem de lenhite, de forma a melhorar a sua qualidade. Com o objetivo de melhorar as condições de escoamento do produto, investiu-se também na construção da linha férrea de ligação de Rio Maior à linha de Leste (Rio Maior – Setil).

Em termos nacionais, os jazigos mais importantes foram os de antracite dos Coutos Mineiros de Pejão e S. Pedro da Cova que, embora possuindo carvão de qualidade superior, tiveram dificuldades em manter uma exploração contínua e equilibrada, situação apenas ultrapassada pela garantia de queima da maior parte da produção na central térmica da Tapada do Outeiro. As minas de lenhite, com exceção da mina de Cabo Mondego (por integrar à boca da mina a exploração do carvão, com o fabrico de cal hidráulica e cimento), tiveram percursos irregulares e na maioria dos casos de curta duração.

A importância da mina do Espadanal e da sua produtividade, que entre 1949 a 1958, figurava na lista das minas mais significativas na produção de carvão (*Tabela 7*), foi decaindo a no final da década de 60, seguindo de alguma forma a tendência nacional, devido à introdução de novos recursos energéticos, como os derivados do petróleo ou o crescente aproveitamento da hulha branca, relegando para o fim da exploração dos

carvões (Rocha I. V., *A Industria Portuense em perspectiva histórica : actas do colóquio*, Lisboa, 1998).

Tabela 7 – Minas mais significativas na produção de carvão de 1949 a 1958

Minas	Concelho	Qualidade	Produção
Peirão	Castelo de Paiva	Antracite	50,8%
S. Pedro da Cova	Gondomar	Antracite	30,1%
Cabo Mondego	Figueira da Foz	Carvões jurássicos	10,2%
Espadanal	Rio Maior	Lignito	7,2%
			Total : 98,3%

Fonte: (Rocha I. V., A Industria Portuense em perspectiva histórica : actas do colóquio, Lisboa, 1998)

Em 1969 a mina foi definitivamente encerrada, sendo em 1970 a concessão mineira e os seus ativos transferidos para a Companhia Portuguesa de Eletricidade (CPE), posteriormente denominada Energias de Portugal (EDP). Em 1976 por despacho ministerial e por razões de necessidade de reduzir as despesas com a segurança a maquinaria foi desmantelada e todo o seu espólio foi removido ou vandalizado.

6.2.3 Tipo de lavra

O Plano de Lavra proposto, em 1919, pelo Eng.º Vasco Bramão, por talhas sobrepostas com entulhamento, para a mina do Espadanal, previa a utilização do poço mestre existente (o terceiro aberto nos trabalhos realizados) no serviço de extração, com uma “secção útil de 4x2m, dividido em três compartimentos, destinando-se dois à extração e o terceiro para subida e descida do pessoal”. Estudada a inclinação e a possança da camada, bem como a constituição do terreno, o Eng.º Vasco Bramão propõe a aplicação de um método misto no arranque da lenhite que consistia em “dividir primeiramente o jazigo em pilares, ou prismas retangulares, aplicando depois ao desmonte de cada pilar um processo de talhas sobrepostas com entulhamento”. Projeta-se, então, a abertura de uma galeria principal com origem no poço mestre, seguindo o pendor da camada. Em intervalos regulares de 30 m abrem-se galerias de nível perpendiculares à galeria principal. As galerias de nível são depois intercetadas em intervalos de 30 m por galerias paralelas à principal, que se designam por secundárias. Divide-se deste modo o jazigo numa primeira reticula definindo maciços de 30 m de lado por 7 m de altura. Cada um dos maciços será posteriormente dividido na sua base por uma malha formada por 3 galerias paralelas à principal e 3 galerias perpendiculares, abertas em intervalos regulares de 6 m, formando assim 16 pilares de 6 m de lado por

7 m de altura. O arranque dos pilares fez-se através de talhas horizontais sobrepostas. A área desmontada dos pilares é preenchida com entulho conduzido ao fundo da mina por chaminés abertas com essa função no centro de cada um dos maciços de 30x30m. O escoamento das águas do fundo da mina é feito através de bombagem mecânica, utilizando máquinas a vapor instaladas em poço de esgoto. Deste poço abre-se uma galeria na camada de argila inferior à camada de lenhite, recolhendo as águas em toda a extensão dos trabalhos de exploração. (Rocha N. A., 2010)

Na Figura 32 apresenta-se, em corte, um detalhe do desmonte, pelo método de talhas sobrepostas com entulhamento, que faz parte do plano de lavra da Mina do Espadanal de 1919. Na Figura 33 apresenta-se o detalhe da Figura 32 em planta.

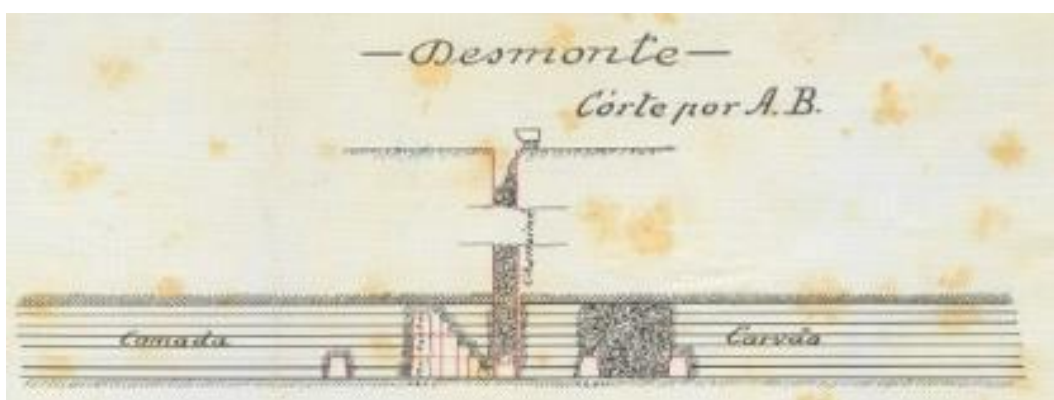


Figura 32- Plano de Lavra da Mina do Espadanal. Detalhes do Desmonte pelo método de talhas sobrepostas, com entulhamento. Corte. (desenho s/escala, Rio Maior, 30 de junho de 1919. AHMIN, DGEG. Arquivo EICEL 1920.)



Figura 33- Plano de Lavra da Mina do Espadanal. Detalhes do Desmonte pelo método de talhas sobrepostas, com entulhamento. Planta. (desenho s/escala, Rio Maior, 30 de junho de 1919. AHMIN, DGEG. Arquivo EICEL 1920.)

Em fevereiro de 1943, João Monteiro da Conceição abandona o cargo de diretor técnico do couro mineiro do Espadanal, assumindo a direção, o Eng.^o Edmundo Pereira Cardoso, que justificará no relatório referente ao seu primeiro ano de trabalhos, a não aplicação de um sistema de lavra *Long-wall*, posição contrária ao plano de lavra de Monteiro da Conceição.

Edmundo Pereira Cardoso defende que, embora este método permita a redução de despesas em traçagens e manutenção, bem como a antecipação do início dos trabalhos de desmonte, apresenta graves inconvenientes. Em primeiro lugar refere o facto de existirem no jazigo trabalhos anteriores que não permitiriam a aplicação prevista do método *long-wall* sem a realização de “alterações importantes” (Cardoso, 1943). Em segundo lugar aponta as irregularidades do jazigo que, “sem uma traçagem de malha apertada, ficariam desconhecidas e viriam depois a influir na regularidade da produção” (Cardoso, 1943). Em terceiro, evoca a necessidade de se garantirem condições de segurança ao pessoal, pelo risco permanente de irrupção nos trabalhos do lençol de água existente no muro da camada, providenciando-se saídas a montante do poço de extração.

No “Estudo de Exploração das Minas de Rio Maior” (Conceição, 1942), o Eng.^o Monteiro da Conceição refere que analisadas as características do jazigo verifica-se a inviabilidade de uma exploração a céu aberto, devido à possança dos terrenos que cobrem a camada de lenhite. Analisadas as possibilidades opta-se pela abertura de um plano inclinado segundo o pendor da camada, com uma extensão máxima de 500 m e pela abertura de dois poços verticais dimensionados para extração em caso de necessidade de aumento da produção, servindo de chaminés de ventilação e segurança.

Monteiro da Conceição adota um método de exploração misto de pilares abandonados com enchimento, alegando que “a natureza do teto e mesmo do carvão não deve permitir a exploração por *Long-wall*, sendo que este seria o método que daria o máximo do rendimento e aproveitamento do jazigo.

Este método de exploração originava perdas extrativas de carvão muito elevadas, na ordem dos 60%, tendo-se mantido até meados de 1945. Em abril de 1945, entra em funcionamento o plano inclinado, para reforço e substituição do poço mestre, para extração de lenhite. Neste ano extraiu-se a partir do plano inclinado, cerca de 46 400 toneladas de lenhite e do poço mestre, cerca de 12 200 toneladas de lenhite. Em alguns

anos existiu ainda o reforço da exploração, com o Poço “Bogalhos”, da concessão Espadanal n. 02, que acabaria por ser utilizado como esgoto da mina. Neste polo passaria a funcionar o sistema de bombagem para drenagem das galerias, a primitiva central elétrica e casas para operários.

Em 1945 é nomeado um novo Diretor do Couto Mineiro, o Eng.º Luís Falcão Mena, que adotou o sistema do método de lavra *long-wall* ou desabamento com fuga que se representa na Figura 34.

Este método de exploração foi utilizado na Europa desde o séc. XVII. É um método aplicável em corpos estratiformes tabulares, pouco espessos e praticamente horizontais (com uma inclinação até 20°) em que a integridade do teto imediato acima do carvão recém-minerado não é mantida. Este teto deve desprender do teto principal, separando-se em blocos e caindo no vazio deixado atrás da linha de suportes móveis. O processo de desprendimento é acompanhado por empolamento (cerca de 50%) e o teto imediato ocupa o vazio deixado pelo carvão minerado, atuando como um leito natural contra o qual o teto principal converge. O maior papel do teto imediato é desprender-se e empolar, preenchendo o vazio minerado e retendo a convergência do teto principal, mantendo sua integridade (Brown, 1993).

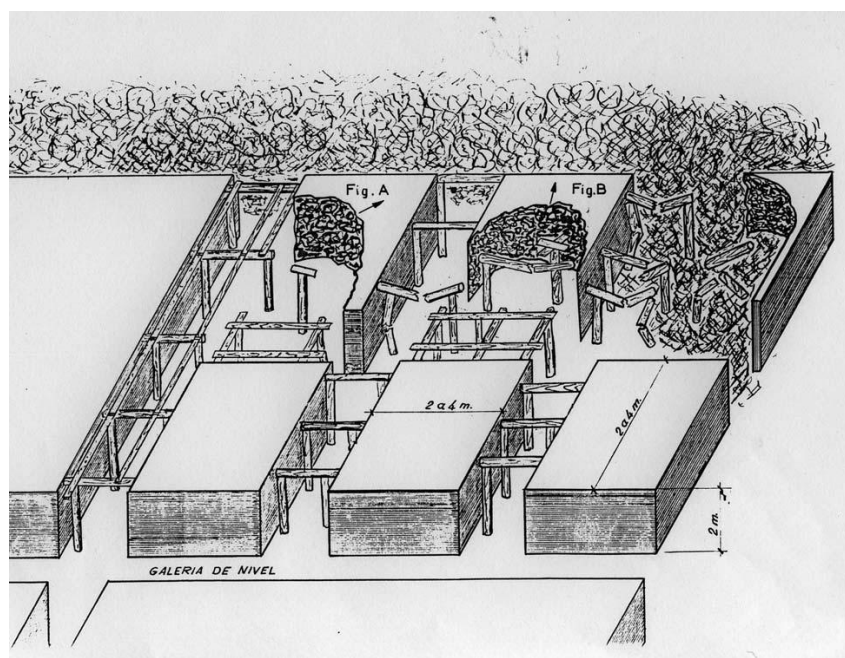


Figura 34- Ilustração do plano de lavra adotado pelo Eng.º Falcão Mena, 1954, com desmonte por camadas com abatimento e fuga

Este método permitiu um maior aproveitamento da exploração, reduzindo as perdas de carvão para 25%, no entanto, é um método gerador de subsidências do solo pela sequência de comportamentos entre camadas, desde a zona de ruína, à zona de

fratura e por fim à zona de deformação à superfície como se pode exemplificar na Figura 35.

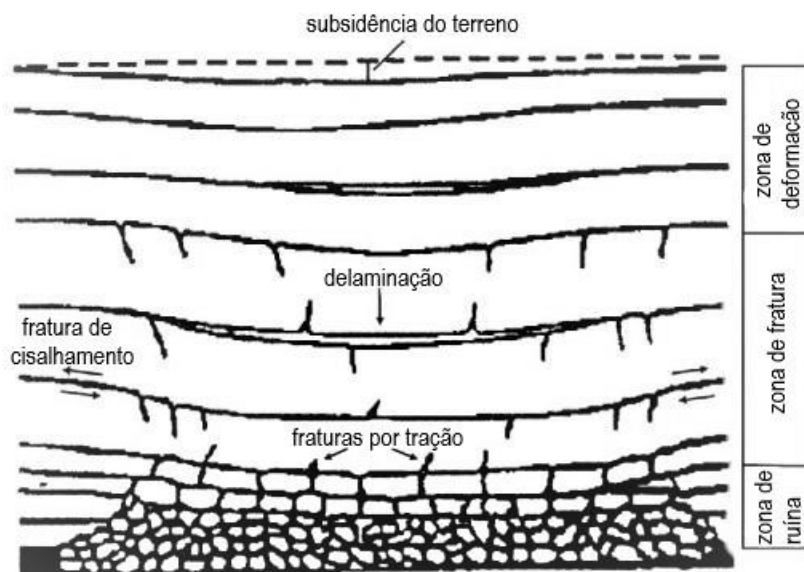


Figura 35 - Esquema de rotura verificado no método de "Long-Wall". Fratura da rocha e padrão de deslocamentos verificado numa seção transversal ao eixo do painel. Adaptado de: (Brown, 1993)

Em 1951, as galerias da Mina do Espadanal mediam um de total 9 Km. Nas galerias circulava um comboio puxado por uma pequena locomotiva (Berline), que transportava a lenhite das frentes de trabalho até ao plano inclinado. A mina possuía ainda poços, estação de esgotos e uma central de produção de energia para os próprios serviços. (Costa, 1999/2000)

A 11 de Maio de 1953, o Jornal Diário da Manhã publicou que iria “realizar-se a produção em larga escala da grande reserva de lenhite de Rio Maior”, invocando a necessidade do aproveitamento do jazigo de lenhite de Rio Maior, de forma a fazer face à falta de combustíveis que se faziam sentir. O Jornal faz referência à extração de 500 toneladas/dia e ao caminho-de-ferro que tinha sido concluído pelo Governo, exclusivamente para transporte deste minério, entre Rio Maior e Vale de Santarém. Nesta fase, o jazigo de Rio Maior era considerado o mais importante do centro e sul do país, mesmo com o decréscimo da sua atividade, o que se explicava pelo facto da inexistência de uma central térmica no local, como nas minas de lenhite da Alemanha, dado que as lenhites eram facilmente queimáveis apenas à boca da mina. É entre a 2ª metade da década de 50 e a 1ª da década de 60, do séc. XX, que se verifica o maior índice de exploração da mina, como se constata no Gráfico 5.

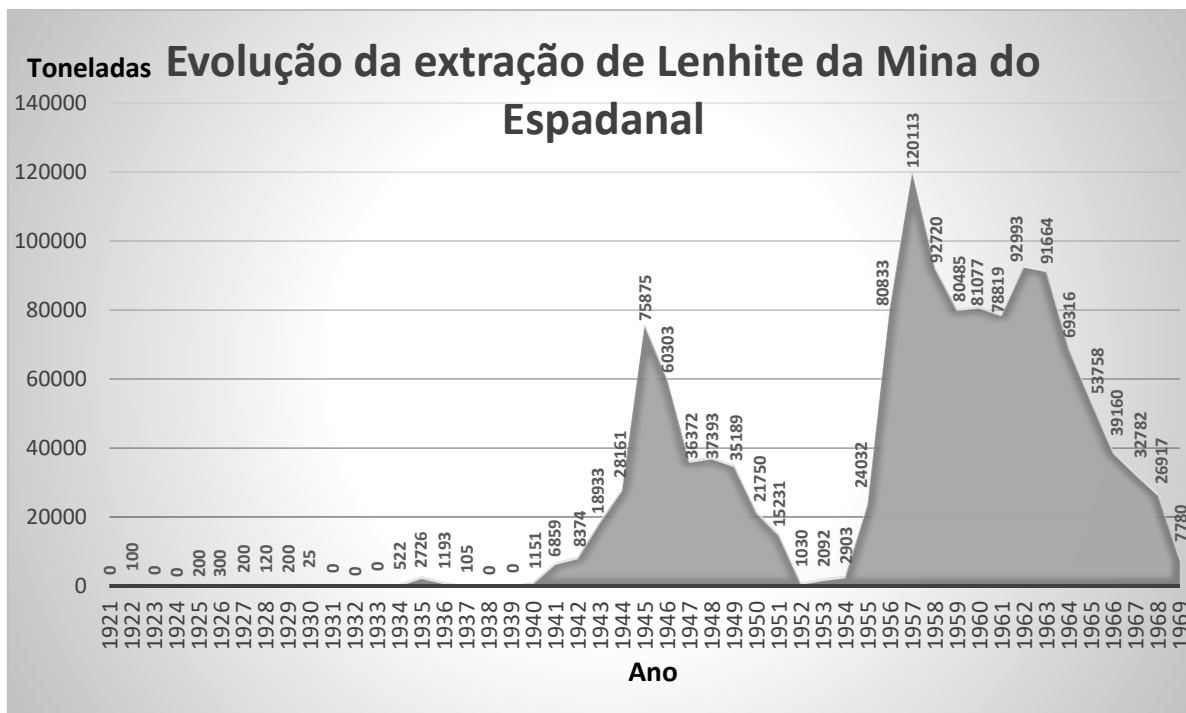


Gráfico 5 - Evolução da extração de lenhite da Mina do Espadanal

No final da década de 50, surge a hipótese de exploração a céu aberto, que leva a alguns estudos e que segundo o autor do Plano de Lavra efetuado em 1959, Eng.º Falcão Mena, é inviável economicamente, pelo facto de ser necessário remover grandes volumes de terras, agravado pelos problemas de aquisição de propriedades. Terá sido ensaiada a exploração por pilares abandonados ou salas e pilares, mas tinha o inconveniente de ocasionar grandes perdas de carvão (cerca de 60%). Os pilares teriam de ter grandes secções, dada a baixa resistência da lenhite ao esmagamento, agravada pela sua elevada percentagem de humidade, a qual libertando-se ocasionaria a sua degradação, provocando desabamentos parciais, que dariam grandes repercussões à superfície, pela irregularidade do assentamento dos terrenos. O método que vinham adotando até à altura era o do desabamento ou *Long Wall*, parecendo ser o único aceitável, contudo é ainda referido na memória descritiva do Plano de Lavra que, as características do jazigo não estão de acordo com algumas condições em que se aconselha a sua aplicação, mas que por ser economicamente mais viável, foi ensaiado e aplicado desde 1945. Este processo de desmorte gerava perdas de lenhite entre 18 a 30%. Com este método, verificava-se que o teto carregava lentamente quando desaba, avisando com antecedência suficiente trabalhadores. A descida dos terrenos é praticamente igual à altura do desmorte, descendo por igual e havendo poucas fraturas e com abertura de poucos centímetros, havendo em alguns casos depressões acentuadas junto ao afloramento. A topografia do terreno modifica-se um pouco devido à irregularidade dos desmontes dando origem a que no inverno, se formem pequenos

lagos de difícil escoamento de águas e que prejudicam a lavoura. O terreno apresenta assentamentos e fraturas com um ângulo aproximado de 55° (Figura 36), fazendo com que, de uma forma preventiva a eventuais acidentes, se deixem maciços de proteção a estradas, edifícios, etc. As águas freáticas desaparecem praticamente nas zonas onde são efetuados desmontes (Mena, 1959).

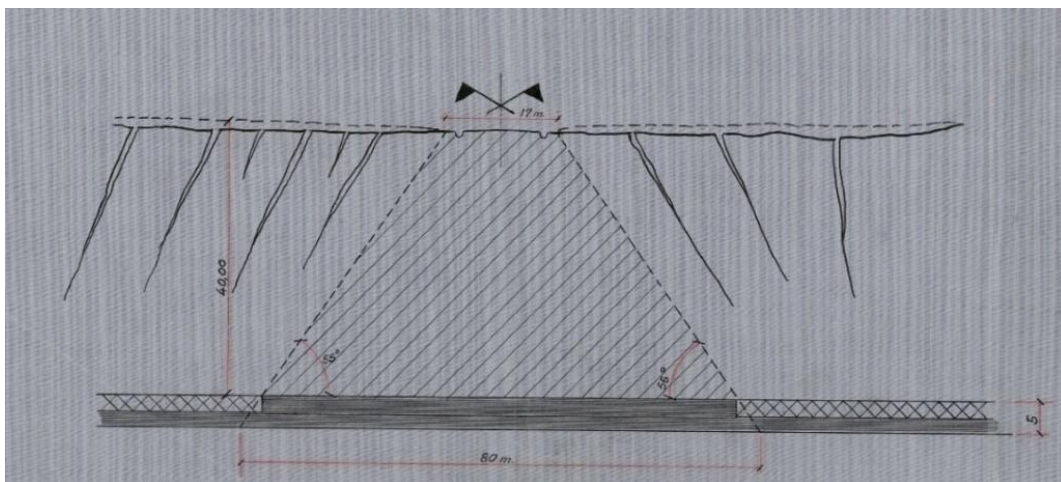


Figura 36 – Ângulo de Fratura – Maciço de Proteção (desenho s/escala, Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal, 1959.04.05 © AHMIN, LNEG)

As minas do Espadanal, apesar de encerradas, representando uma Reserva de 33 a 35 Mt de lenhite, ou Carvão de potencial Baixo a Moderado, e sendo uma das principais reservas do país, aparecem no mapa de Recursos Minerais Energéticos de Portugal (Figura 37), integrando o documento elaborado pelo LNEG– Laboratório Nacional de Energia e Geologia e LGM – Laboratório de Geologia e Minas, para instruir o documento de Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos : “Recursos Minerais – O Potencial de Portugal”. Na *Tabela 8* apresentam-se as principais reservas de carvão em Portugal.



Figura 37 – Distribuição das Principais Ocorrências de Carvão em Portugal Continental (Filipe, et al., 2010)

Tabela 8 – Principais Reservas de Recursos Minerais Energéticos de Portugal (Carvão). Fonte : (Filipe, et al., 2010)

Ref. Nome do Depósito Mineral	Substância(s) Principal(ais)	Produção Histórica	Dimensão	Reserva Potencial	Potencial	Situação atual
1 - Campo Mineiro de S. Pedro da Cova	Carvão	1825/1887 - 490.098 t carvão 1894/1972 - 9.209.128 t de carvão	Média	Ton "in situ"= 350.000 t c/ 257.000 t antracite		Livre
2 - Germunde	Carvão	1940/1977 - 5.757.397 t de carvão	Média	Ton "in situ"= 3.700.000 t c/ 2.700.000 t antracite		Livre
3 - Campo Mineiro da Quinta da Várzea e do Espadanal (Rio Maior)	Carvão	1947/1959 - 550.504 t de lenhite	Média	Ton "in situ"= 33 Mt	Baixo a Moderado	Livre
4 - Pejão	Carvão	5.270.000 Mt de carvão bruto	Média	2,5 Mt c/ 1,08 t Antracite		Livre

7. Metodologias de investigação da subsidência na Mina do Espadanal

Procedeu-se à recolha de toda a informação relativa à exploração da mina e de registos de eventos ou danos ocorridos na zona ocupada anteriormente pela exploração mineira. De seguida procedeu-se ao levantamento da zona com identificação de situações de danos sobre os terrenos e sobre as construções aí existentes. Foi também realizada uma campanha de prospeção *in situ* recorrendo-se à técnica de prospeção geofísica do Georadar.

7.1 Levantamento da zona da mina

As diversas parcelas do couto mineiro, adquiridas pela Câmara Municipal de Rio Maior, após a declaração de inatividade da exploração, perfazem um total de 110 380m², a que corresponde essencialmente a área de edificado das Minas do Espadanal; No entanto a área atravessada pela rede de galerias é muito superior, sob terrenos privados, deixando muitas dúvidas quanto à responsabilidade por eventuais danos e/ou acidentes que ocorram, devido a subsidência do solo em terrenos particulares. De facto, as galerias atravessam terrenos agrícolas, terrenos urbanos com edifícios de habitação, edifícios comerciais ou armazéns e até mesmo edifícios de ensino público. Também infraestruturas públicas se situam sobre as galerias, como estradas rurais, estradas municipais e uma estrada nacional (EN 361).

7.1.1 Levantamento de subsidências

Com o intuito de localizar, delimitar e estudar a evolução das subsidências existentes, cravaram-se estacas nos pontos de maior profundidade das mesmas, procedendo-se ao seu levantamento topográfico, adaptando-o às bases cartográficas atuais e sobrepondo-o a plantas existentes das galerias da mina de 1959.

No trabalho de campo efetuado, procedeu-se igualmente ao registo fotográfico das subsidências verificadas.

Na Figura 39 apresenta-se um extrato da planta da mina com demarcação de zonas com subsidência na cartografia atual e com sobreposição da planta das galerias da mina em 1959.

Foram identificados fenómenos de subsidência em 6 zonas potencialmente vulneráveis à subsidência ou onde ocorreram fenómenos de subsidência ou abatimentos (Figura 38):

Z1 – Subsidência por cova com colapso em terreno entre a Escola superior de Desporto e a estrada Rio Maior – Cidral;

Z2 – Subsidência com afundamento ou vale em terreno entre a Escola Superior de Desporto e a Rua dos Mineiros (abatimento ao longo do tempo de toda uma grande área de terreno);

Z3 – Abatimento do aterro do Poço do Palácio (abatimento de zonas aterradas de infraestruturas abandonadas);

Z4 - Subsidência por cova com colapso em terreno entre a estrada do Cidral e a Zona Z1;

Z5 – Subsidência com afundamento ou vale em terreno entre o Bairro do Espadanal / Estrada dos Mineiros e Estrada s/ nome de ligação desta ao plano inclinado;

Z6 - Subsidência por cova com colapso em terreno, junto ao plano inclinado.

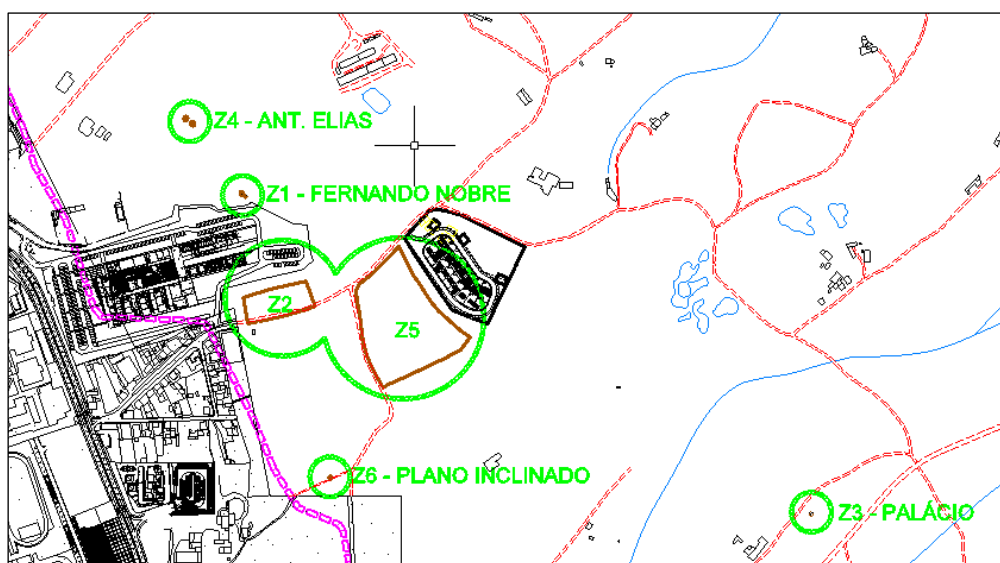


Figura 38- Localização das Zonas em monitorização (desenho s/ escala)

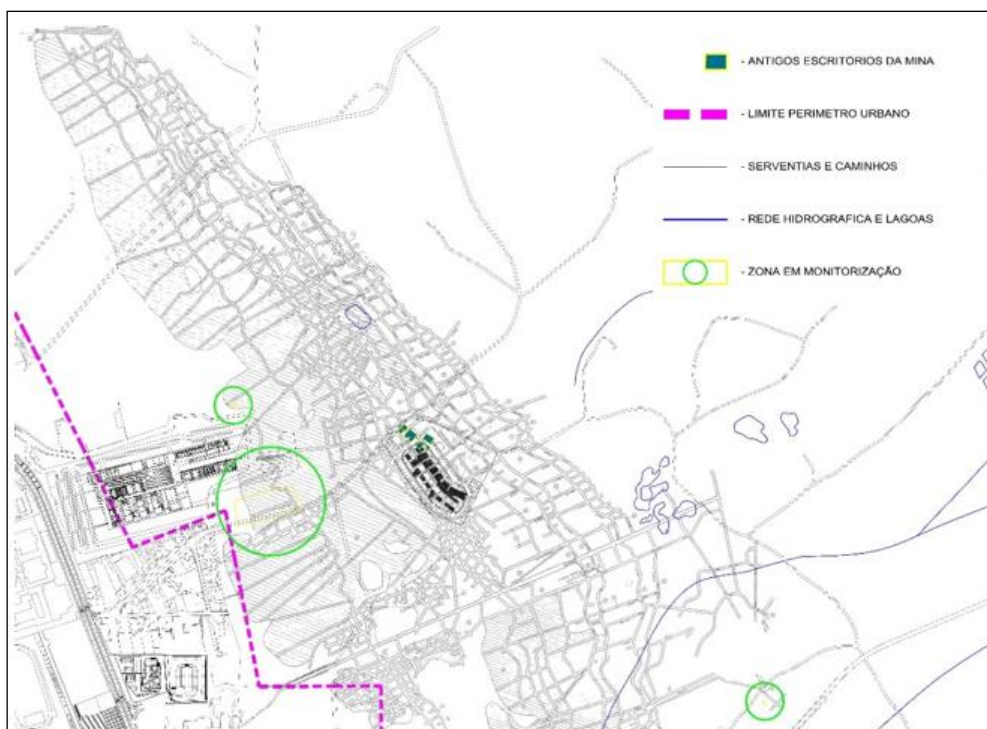


Figura 39- Extrato de planta com a demarcação de subsidiências na cartografia atual, com sobreposição da planta de galerias da mina de 1959 (desenho s/ escala)

Através dos levantamentos efetuados pode constatar-se o estado atual das subsidiências existentes, de forma a poder acompanhar a sua evolução (Tabela 9).

Tabela 9 – Caracterização Inicial das Zonas em Monitorização

IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL	DATA	ZONA MONIT.	COORD. ESTACAS	COTA DO PONTO MAIS PROFUNDO	OBSERVAÇÕES
Fernando Nobre (Prédio 66 da seção AT da Freguesia de Rio Maior)	25/jun/18	Z1	-68697,33	74,31	2 estacas, em eucaliptal a Norte da ESDRM, na propriedade do Sr. Fernando Nobre
			-35482,81		
			-68692,54	74,67	
			-35486,19		
Rua dos Mineiros (Prédio 88 da seção AS da Freguesia de Rio Maior)	25/jun/18	Z2	-68650,72	78,83	Rua dos Mineiros - Terreno frente à Casa Torre
			-35617,8		
Rua dos Bogalhos -Palácio (Prédio 102 da seção AS da Freguesia de Rio Maior)	25/jun/18	Z3	-67951,31	97,75	Terreno junto a ER361
			-35904,31		
Rua Cidade de Rio Maior n.º 22 – Cidral	25/jun/18	Z4	-68771,14	75,22	Rua Cidade de Rio Maior, dentro da propriedade no n.º 22 - António Elias
			-35383,59		
			-68759,96	74,52	
			-35390,56		
Bairro do Espadanal	25/jun/18	Z5	-68475,72	79,86	Terreno de eucaliptal, na Rua dos Mineiros
			-35659,95		
Mina Espadanal - Plano Inclinado	25/jun/18	Z6	-68580,82	81,75	Atrás das instalações da antiga mina
			-		
			35855,32		

É possível através da sobreposição com a planta das galerias da mina (Figura 39) e a planta de afloramento da camada de lenhite (Figura 17), ter uma percepção da maior ou menor aproximação da exploração na zona das subsidências, à superfície. Na zona Z1, da Figura 36 existem duas subsidências relevantes (situação 1 e situação 2). Esta é uma zona de exploração em afloramento e, portanto, mais à superfície.

Na Figura 40, apresenta-se o resultado da identificação e caracterização da subsidência da Zona Z1, onde se verifica a existência de duas depressões (situação 1 e situação 2), tendo a situação 1, uma profundidade de 0,44 m e um diâmetro de cerca de 1,80 m, sendo que a situação 2, apresenta uma maior profundidade de subsidência, com 0,61 m. As figuras 41 e 42, ilustram a metodologia de registo, com recurso a Estação total, para georreferenciação e registo altimétrico da estaca cravada à maior profundidade da subsidência.

Importa salientar que esta subsidência já foi denunciada pelo proprietário há cerca de 10 anos e aterrada por diversas vezes, mantendo a continuidade de abatimento.

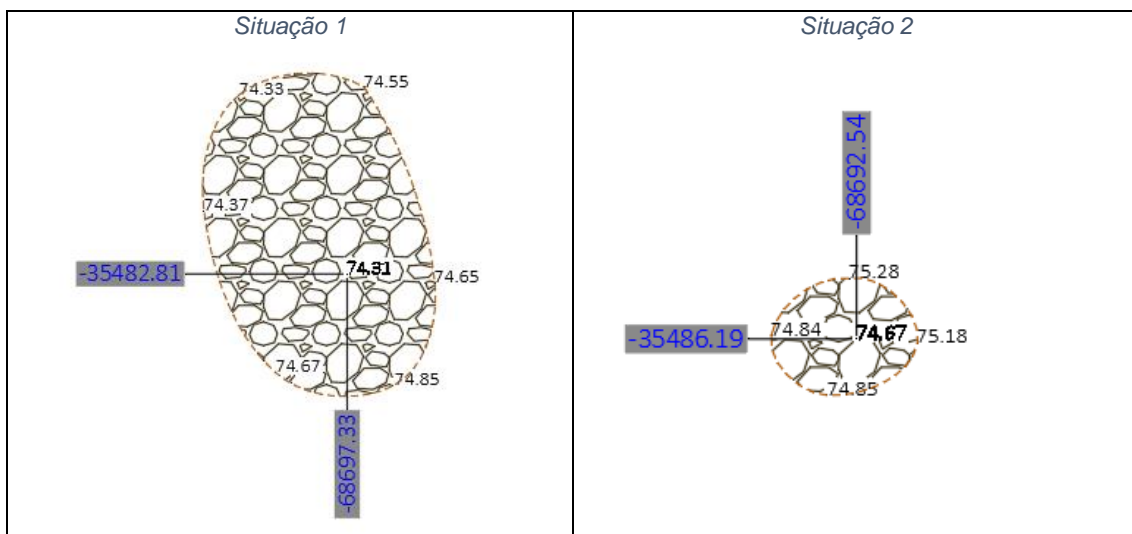


Figura 40- levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z1 (Terreno propriedade de Fernando Nobre, entre a Z4 a Norte e a Escola Superior de Desporto a Sul - desenho s/ escala)



Figura 41 e Figura 42- Subsidência verificada na Zona Z3 (referente à zona de implantação do Poço dos Bogalho, com um registo de medição de diâmetro superior a 2 metros)

Na figura 43 apresenta-se o levantamento topográfico com caracterização da subsidência da Zona Z2, onde se verifica a existência de afundamento em bacia, de um olival (Figura 44) entre a Rua dos Mineiros e a Escola Superior de Desporto de Rio Maior. O relevo apresenta-se bastante irregular, revelando uma ligeira bacia.

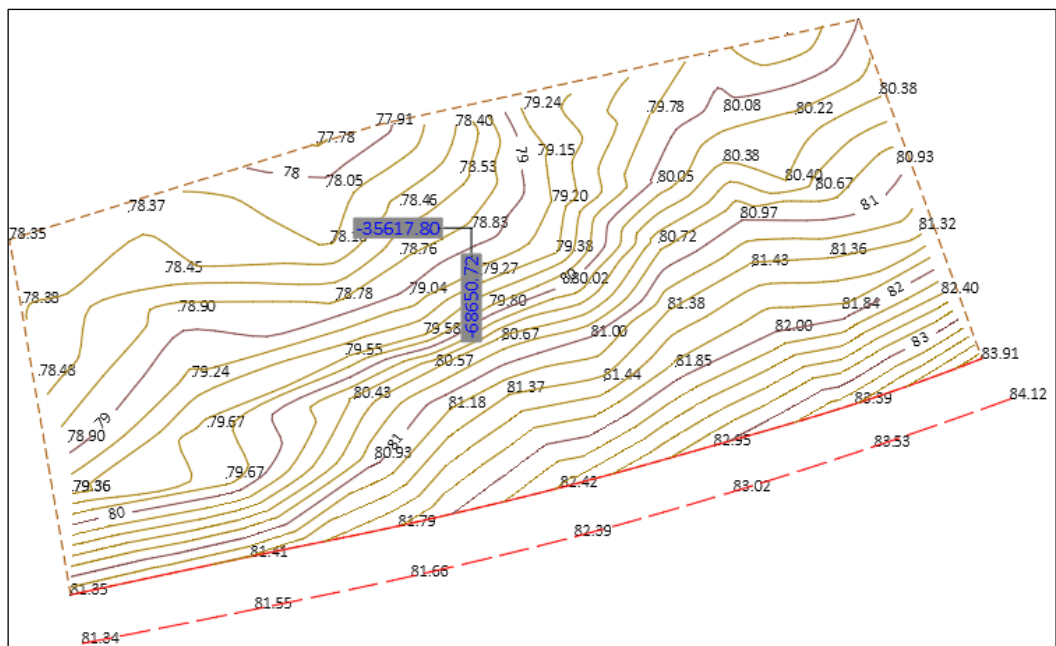


Figura 43- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z2 (Terreno confinante a sul com a Rua dos Mineiros, frente à empresa Casa Torre e a norte com a Escola Superior de Desporto – desenho s/ escala)



Figura 44- Zona Z2 – Terreno confinante a sul com a Rua dos Mineiros, frente à empresa Casa Torre e a norte com a Escola Superior de Desporto

Na figura 45 apresenta-se o o levantamento topográfico com caracterização da subsidência da Zona Z3, na Rua dos Bogalhos, correspondendo à zona de implantação do poço do Palácio, sendo que o mesmo foi aterrado na década de 70, tendo esta subsidência maior diâmetro que as restantes registadas (Figura 46 e Figura 47), podendo estar relacionada com a deficiente compactação do terreno.

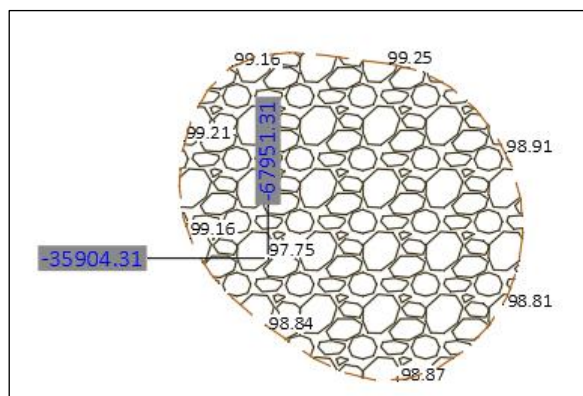


Figura 45- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z3 – Rua dos Bogalhos – O Palácio (desenho s/ escala)



Figura 46 e Figura 47- Subsidiência verificada na Zona Z3, referente à zona do Poço dos Bogalhos, com um registo de medição de diâmetro superior a 2 metros.

Na figura 48, apresenta-se o o levantamento topográfico com caracterização das subsidiências da Zona Z4 (cujo trabalho de campo é ilustrado pelas figuras 49 e 50), na Rua Cidade de Rio Maior n.º22, descritas como situação 1 e situação 2, com especial relevância para esta última com 1,93m de profundidade máxima.

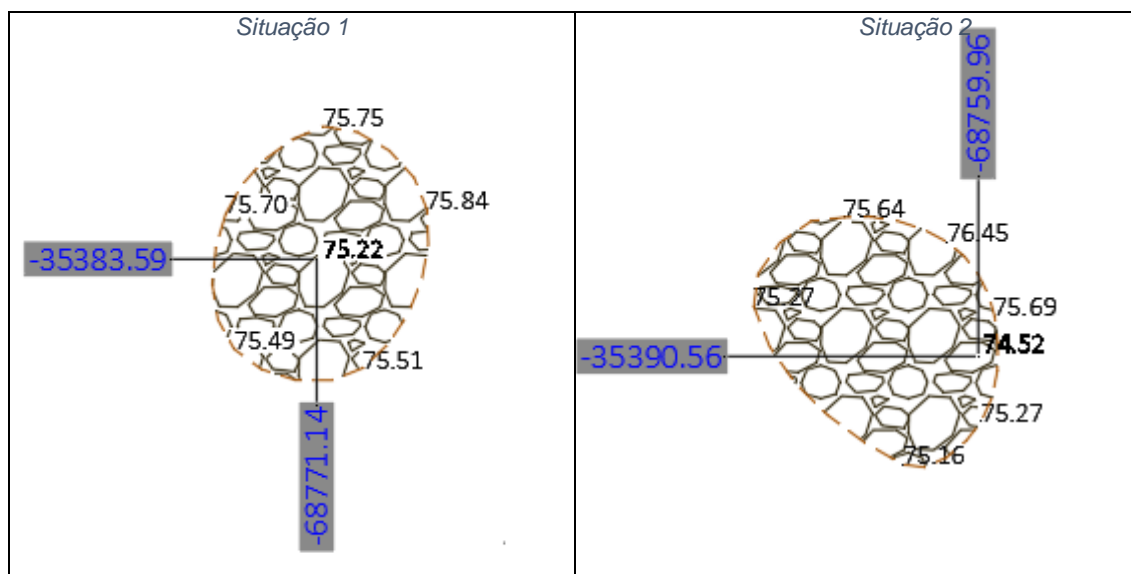


Figura 48- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z4 – Rua Cidade de Rio Maior n.º 22 (desenho s/ escala)



Figura 49 e Figura 50- Levantamento topográfico, georreferenciação e medições auxiliares das Subsidiências verificadas na Zona Z4

Na Figura 51, apresenta-se o o levantamento topográfico com caracterização da subsidência da Zona Z5, no terreno junto ao Bairro do Espadanal, confinante com a Rua dos Mineiros, cuja subsidência, ocorreu lentamente e por afundamento, formando uma bacia, conforme ilustra a Figura 52.

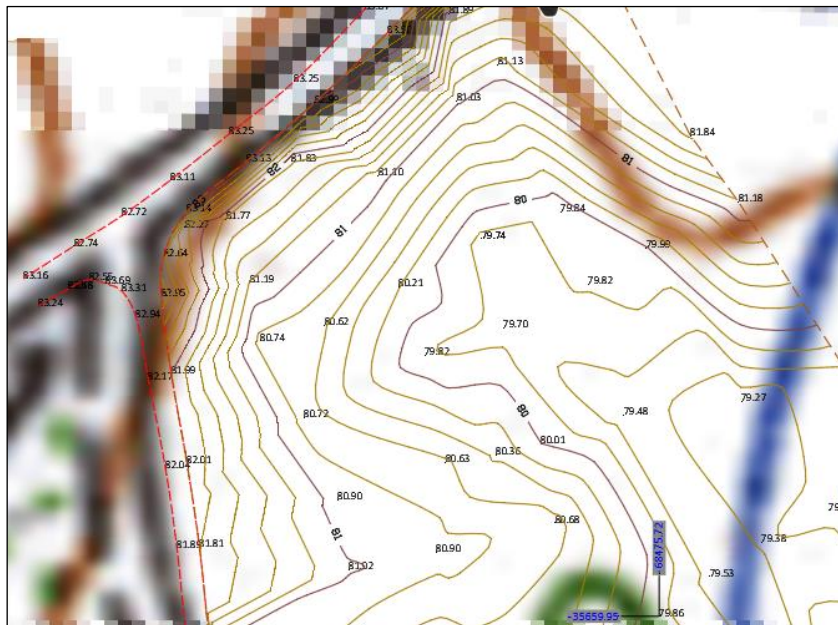


Figura 51- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z5 – Rua dos Mineiros, em Terreno junto ao Bairro do Espadanal, edificado onde existiram os escritórios da mina (desenho s/ escala)



Figura 52- Terreno confinante com o Bairro do Espadanal, em que é visível a formação de uma bacia.

Na Figura 53, apresenta-se o resultado da identificação e caracterização da subsidência da Zona Z6, no terreno junto ao Plano Inclinado, em que devido ao declive do terreno e conseqüentemente à escorrência das águas superficiais, para esta zona (Figura 54), se verifica que a água tem entrado para um pequeno orifício que importa monitorizar, pois pode no futuro gerar o agravamento do abatimento identificado.

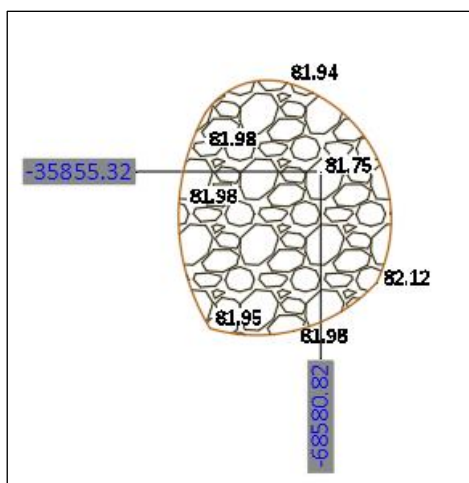


Figura 53- Levantamento topográfico com georreferenciação da Zona Z6 – Junto ao Plano inclinado (desenho s/ escala)



Figura 54 – Terreno junto ao Plano inclinado, com subsidência do tipo cova, agravada pela infiltração de água

7.1.2 Levantamento e caracterização de danos à superfície

Com os objetivos de se proceder ao levantamento e caracterização de danos sobre edifícios e infraestruturas foram criadas fichas de identificação e caracterização de patologias.

A utilização das fichas (Anexo 2 e Anexo 3) permitiu o registo de ocorrências, quer em terrenos, quer em infraestruturas, como o edifício, que se caracteriza em seguida, de acordo com as patologias identificadas.

- Ficha para Levantamento e Caracterização de Patologias em Edifício (Edifício Comercial/Armazém, Rua Cidade de Rio Maior, n.º 5, Cidral)

Na zona mais a Norte da exploração da mina, junto à estrada de acesso ao lugar de Cidral, a cerca de 2 Km do centro da cidade de Rio Maior, já nos finais dos anos 90, do século passado, e início de 2000, se tinham verificado subsidências que terão originado a ruína parcial de um muro de uma propriedade privada, confinante com a estrada do Cidral. Na Figura 55, apresenta-se o muro no estado atual, reconstruído.



Figura 55 – Estado atual do muro, na zona em que ruiu

Do lado oposto da referida via, existe um estabelecimento comercial e armazém de material de eletricidade, que apresenta patologias quer ao nível de paredes exteriores e interiores, quer ao nível de pavimentos. Na Figura 56 pode observar-se fendilhação da parede exterior que se estende para ambos lados do pilar. Na Figura 56 e na Figura 57, pode constatar-se com maior pormenor o desenvolvimento da fendilhação até à zona da placa de proteção à entrada do edifício, devendo acompanhar-se a sua evolução, para ser determinada a sua causa. Se esta se deve à ocorrência de subsidência ou a dilatação térmica diferencial.



Figura 56 e Figura 57 – Fendilhação exterior na fachada frontal e lateral esquerdo, estendendo-se a partir da zona do pilar

Na Figura 58, pode observar-se que a fendilhação também existe nas paredes interiores do edifício, neste caso na parede divisória do escritório (1º andar), para o armazém.



Figura 58 – Fendilhação de parede interior, zona de escritórios, no 1.º piso

No armazém, verifica-se a fendilhação do pavimento (Figura 59) e a abertura exagerada da junta de dilatação (Figura 60).



Figura 59 e Figura 60– Pavimento do armazém, com junta de dilatação, apresentando abertura excessiva, com fendilhação e assentamento do pavimento em zona de proximidade à mesma.

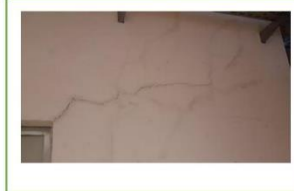
Com base na observação visual, das patologias existentes no edifício, procedeu-se à elaboração de uma ficha de levantamento e caracterização de patologias em edifícios, que permita a identificação, caracterização e localização do prédio em análise, mas adequado a qualquer outra situação, e em que se faça o registo descritivo e ilustrado (através de fotografia) de todas as patologias que se verificarem, permitindo a monitorização da evolução das patologias e do comportamento às soluções preconizadas e implementadas.

FICHA PARA LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO	FICHA 1
DATA DA INSPEÇÃO: 27/05/2018	HORA: 15:30
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO: Edifício destinado a Comércio e Armazém de Equipamentos e componentes elétricos para edifícios,	
1 DADOS DO EDIFÍCIO	
<p>1.1 LOCALIZAÇÃO: Rua Cidade de Rio Maior Nº 5 - Cidral</p> <p>1.2 PROPRIETÁRIO: António Fernando Neves-eletricidade, estudos e projetos elétricos, Lda.</p> <p>1.3 DATA DE CONSTRUÇÃO:</p> <p>1.4 TIPO DE EDIFÍCIO: Edifício</p> <p>Unifamiliar <input type="checkbox"/> Multifamiliar <input type="checkbox"/></p> <p>Outro x : Loja e Armazém</p> <p>Isolado x Geminado <input type="checkbox"/> Banda <input type="checkbox"/></p> <p>1.5 TIPO DE CONSTRUÇÃO:</p> <p>Pórtico / parede em betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>Viga / pilar em betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>Viga / pilar em perfil metálico <input type="checkbox"/></p> <p>Mista (betão / metálica) x</p> <p>Mista (betão / alvenaria) <input type="checkbox"/></p> <p>1.6 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA:</p> <p>Inclinada x <u>metálica</u></p> <p>Plana <input type="checkbox"/></p> <p>Mista <input type="checkbox"/></p> <p>1.7 CARACTERIZAÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES:</p> <p>Alvenaria simples <input type="checkbox"/></p> <p>Alvenaria dupla c/ caixa-de-ar x <u>c/ chapa a partir de meia altura</u></p> <p>Blocos de betão <input type="checkbox"/></p> <p>Betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>1.8 Outras observações relevantes:</p> <p><u>Cobertura Metálica</u></p> <hr/> <hr/>	
	
Pág.1/4	

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO	FICHA 1
DATA DA INSPEÇÃO: 27/05/2018	HORA: 15:30
2 REGISTO DAS PATOLOGIAS VERIFICADAS:	
<p data-bbox="438 555 566 577">2.1 PAREDES x</p> <p data-bbox="438 607 821 651">2.1.1 Fendilhação longitudinal ou transversal de desenvolvimento significativo x</p> <p data-bbox="438 779 869 824">Descrição Foto 1: <u>Fendilhação ao nível do topo da fachada principal voltada a sul</u></p>  <p data-bbox="438 1032 869 1099">Descrição Foto 2: <u>Fendilhação ao nível da parede interior voltada a norte, para o interior do armazém</u></p>  <p data-bbox="438 1285 869 1352">Descrição Foto 3: <u>Fendilhação ao nível da parede interior voltada a norte, para o interior do armazém</u></p> 	
Pág.2/4	

Descrição Foto 4: Fendilhação ao nível da parede interior voltada a norte, para o interior do armazém



2.1.2 Descolamento ou fendilhação de Revestimentos x

Descrição Foto 5: Fendilhação de revestimento Cerâmico da parede das instalações sanitárias.



Descrição Foto 6: Fendilhação de revestimento Cerâmico da parede das instalações sanitárias.



2.1.3 Danos em elementos estruturais □

Descrição: Não observáveis



2.1.4 Danos em Pavimento x

Descrição: Fendilhação perpendicular à junta do pavimento do armazém com aumento da dimensão da mesma e desnível entre as partes, supondo a existência de assentamentos.



2.1.5 Danos na cobertura □

Descrição: Não observáveis



OUTRAS OBSERVAÇÕES RELEVANTES:

Multiple horizontal lines provided for additional observations or notes.

7.1.3 Campanha com recurso a Georadar ou GPR (Radar de Penetração no solo)

Com o recurso a equipamento de Georadar, realizou-se em junho de 2018, uma campanha de recolha de registos, obtidos através da passagem do equipamento em 3 zonas (Figura 62), nomeadamente a Rua cidade de Rio Maior, a Rua do Espadanal e a Rua dos Mineiros, traçando-se os Perfis P1, P2 e P3, respetivamente. Considera-se e foi fator de seleção destas zonas, o afloramento da lenhite, a maior proximidade das galerias à superfície, havendo por isso maior probabilidade de ocorrência de subsidências.

O equipamento utilizado foi o PULSE EKKO, da Sensors & Software que oferece uma capacidade GPR de baixa frequência e som profundo, com frequências de 100 MHz e 50 MHz. Trata-se de um equipamento desmontável e de grande portabilidade. O PULSE EKKO possui antenas destacáveis que permitem a sua montagem num carrinho

de quatro rodas (*Smartcart*), durável e adaptável à maior parte dos terrenos, para mapeamento geológico e aplicações geotécnicas.

Neste estudo foram usadas antenas de 100 e 50 MHz, fazendo uma linha de leituras com cada uma para cada uma das frequências de transmissão. O software utilizado para visualização, análise e processamento dos dados GPR, foi o EKKO_Project 5.

Na Figura 61 apresenta-se a localização das zonas onde se identificaram subsidências e que se definiram como sendo zonas a monitorizar. Na figura também se pode ver o limite do perímetro urbano de Rio Maior e a sua proximidade às zonas de risco à subsidência.

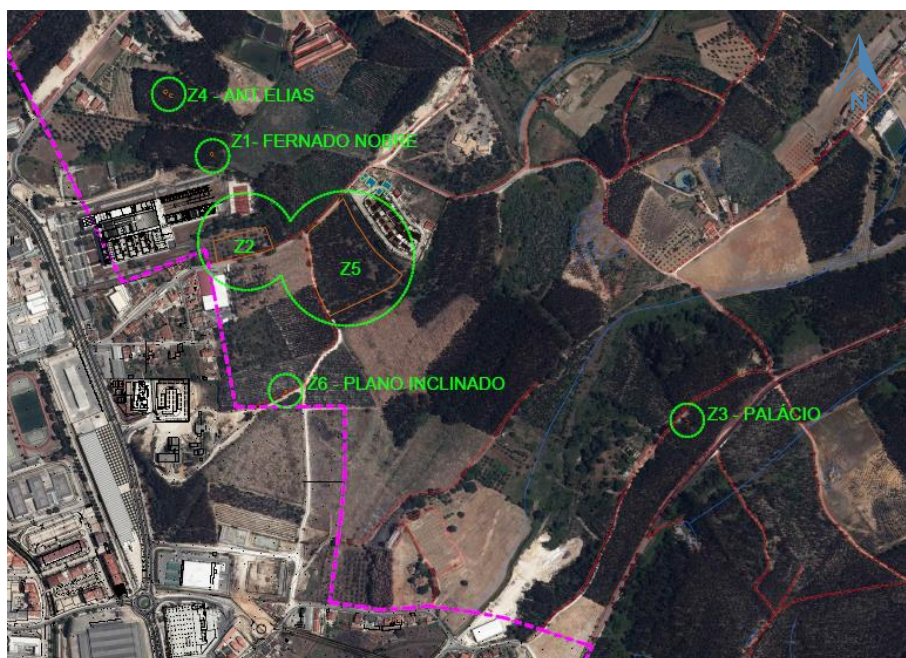


Figura 61– Ortofotomapa s/ representação à escala, com a indicação a rosa do perímetro urbano e a verde as zonas em que se verificam subsidências, em monitorização

Na Figura 62 apresenta-se a mesma área da Figura 61, com a localização das zonas onde foram feitos os perfis com o Georadar.

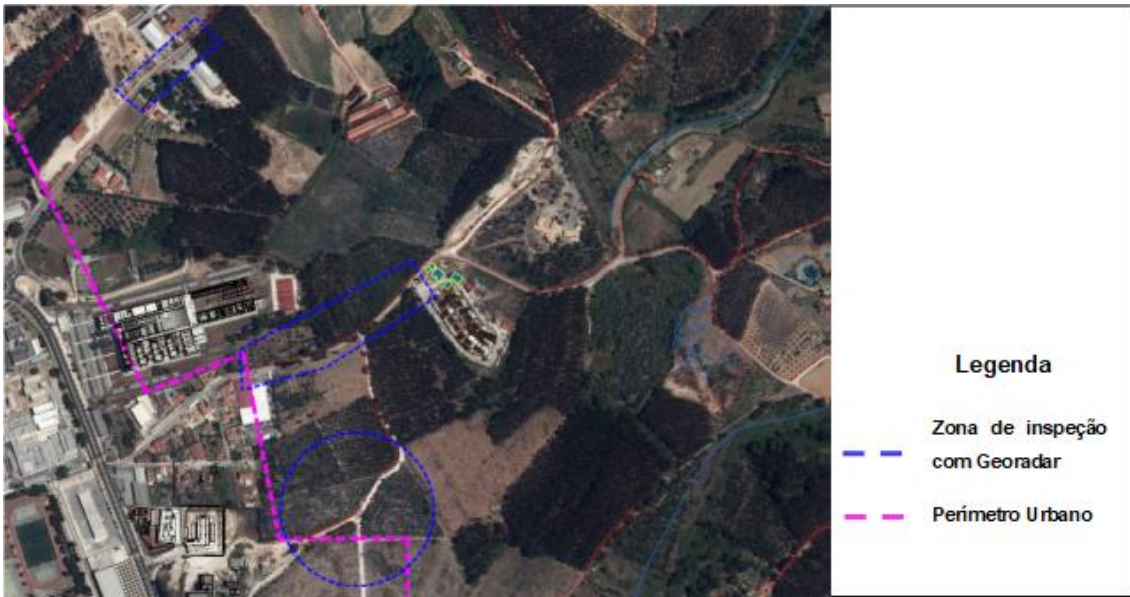


Figura 62– Ortofotomapa s/ representação à escala, com a indicação a rosa do perímetro urbano e a azul, as zonas em que se realizou a campanha de registos com recurso a Georadar

Na Figura 63, apresenta-se o equipamento utilizado para a realização dos perfis, demonstrando-se a localização do transmissor e recetor das ondas eletromagnéticas (Figura 64 e Figura 65), assim como o posicionamento das respetivas antenas no Smartcart.



Figura 63 – Equipamento de Georadar, instalado em smartcart, com a localização do Transmissor e Receptor de ondas eletromagnéticas, e respetivas antenas

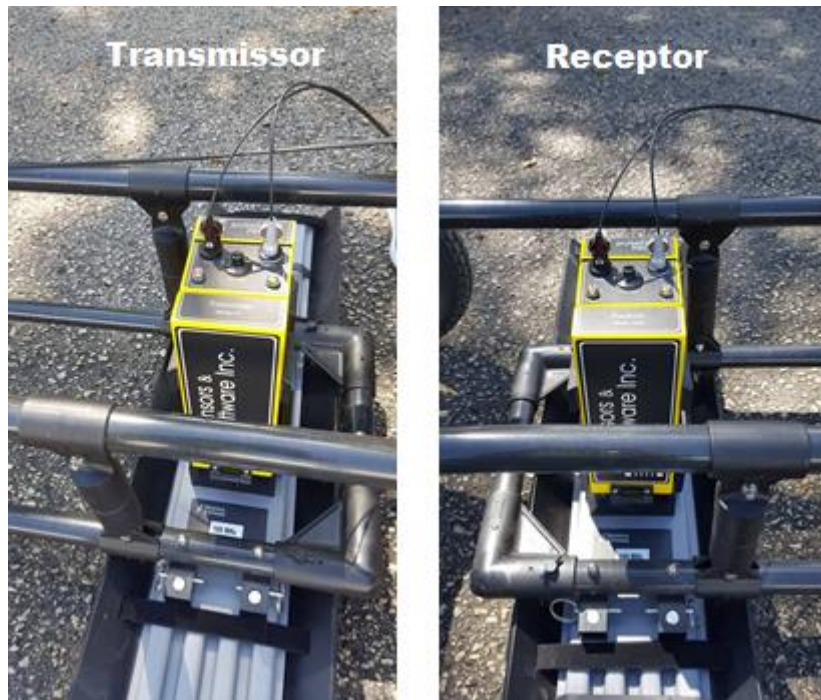


Figura 64 e Figura 65– Transmissor e Receptor de ondas eletromagnéticas, instalados nas 2 antenas que equipam o Georadar

A Figura 66 ilustra a utilização do equipamento. Esta imagem foi obtida durante uma das passagens em linha do Georadar na Rua Cidade de Rio Maior, mais propriamente ao longo da estrada que liga Rio Maior ao Cidral.



Figura 66 – Passagem do Georadar em linha, na Rua Cidade de Rio Maior – Estrada do Cidral

Análise gráfica dos elementos recolhidos

Foram realizados perfis de passagem, em traçados retilíneos junto ao Plano Inclinado e de extração das minas do Espadanal, na Rua dos Mineiros e na Rua Cidade

de Rio Maior (Figura 67). De seguida, procedeu-se à leitura, análise e interpretação dos dados no software EKKO_Project 5.

A interpretação dos radargramas é uma fase que apresenta grande complexidade, devido à variação do perfil estratigráfico original do solo e variáveis como o nível freático, aterros, substituição de solo, comuns em processos construtivos de pavimentação, implantação de infraestruturas como cablagem ou condutas, raízes de árvores e outras perturbações que dificultam a interpretação dos padrões de reflexão de ondas de radar.

Na Figura 67 localizam-se os perfis de Georadar realizados. Para melhor localização vamos definir que o perfil realizado na Rua Cidade de Rio Maior passa a ser designado por P1, o realizado na Rua do Espadanal passa a ser designado por P2 e por P3 o realizado na Rua dos Mineiros.

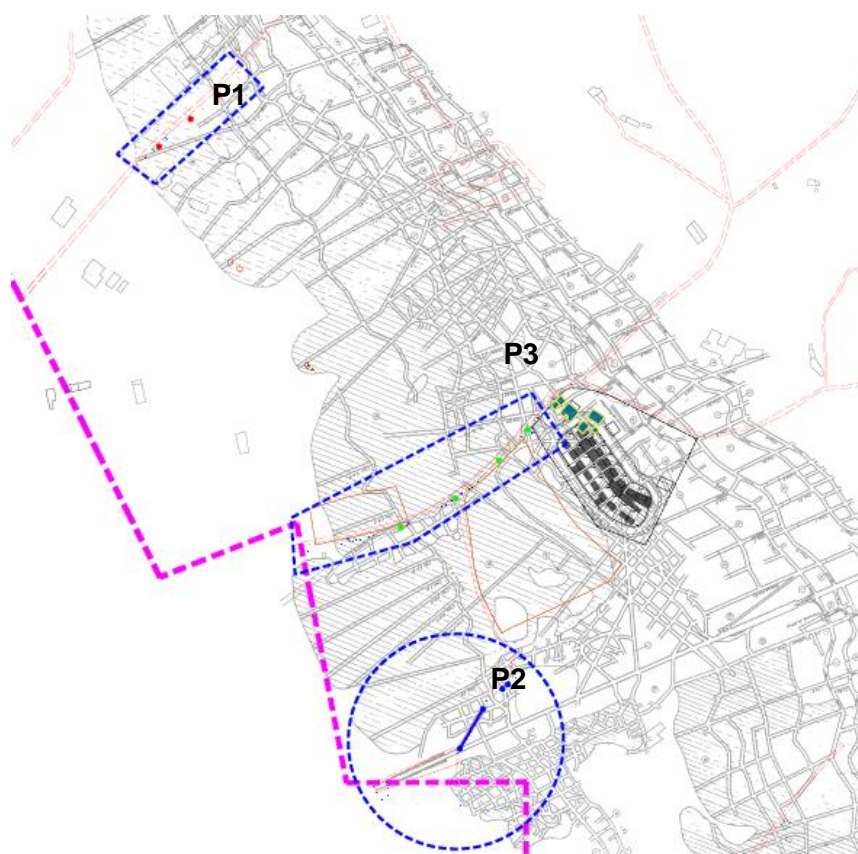


Figura 67 – Sobreposição das zonas em que se realizou a campanha de registos com recurso a Georadar (a azul), à planta de galerias da mina. - A rosa, representa-se o perímetro urbano (desenho s/ escala)

Na Figura 68, apresenta-se a leitura da “Lineview” do perfil P1 realizado a 100 MHz. Pode observar-se, aos 4 m de profundidade, uma forma linear contínua que pode corresponder à posição do nível freático, sendo a água um bom refletor atenua a

propagação. Abaixo do nível freático deixa de existir uma boa resolução. Porém dentro desta profundidade, pode ser identificada uma parábola aos 15-20 m que apresenta muito boa definição e pode corresponder a uma cavidade de abatimento, pois tem acima a forma de “funil” que deverá corresponder à geometria do abatimento (assinalada a cor vermelha na figura 68). Entre os 30 e 40 m, pela geometria e dimensão da representação da anomalia, supõe-se tratar-se das raízes de uma grande árvore (identificada a sua presença no terreno). Entre os 55 e 65 m regista-se outra estrutura em funil, bastante larga que poderá corresponder à interface de materiais com contraste, podendo corresponder a uma depressão preenchida por aterro (a amarelo). Aos 90 – 95 m a anomalia parece corresponder a uma caixa, ou apenas a uma passagem de cabos elétricos atravessando a estrada, identificada à superfície.

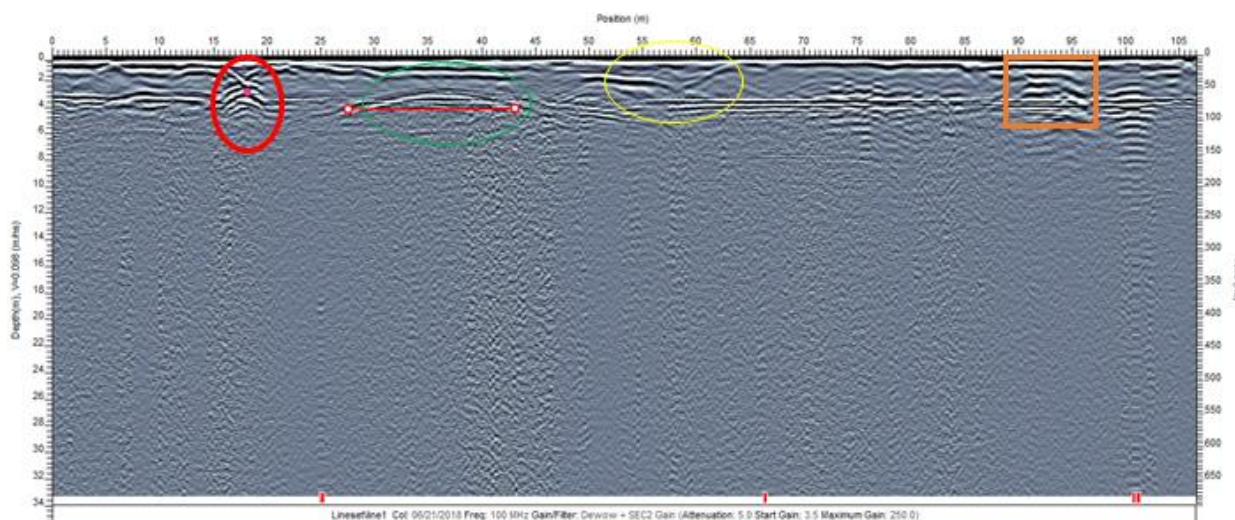


Figura 68– “Lineview”(100MHz) do P1, na Rua Cidade de Rio Maior – Estrada de acesso ao lugar de Cidral

A sobreposição da “Lineview” do P1 com a planta da mina (Figura 69), pode verificar-se a coincidência dos pontos referidos com galerias de acesso a zonas de situações relatadas de subsidências, como a do muro e do estabelecimento comercial (mencionado no capítulo 7.1.2) e armazém de material de eletricidade, que apresenta patologias quer ao nível de paredes exteriores e interiores, quer ao nível de pavimentos(considerando algum erro por desfaseamento entre as plantas).

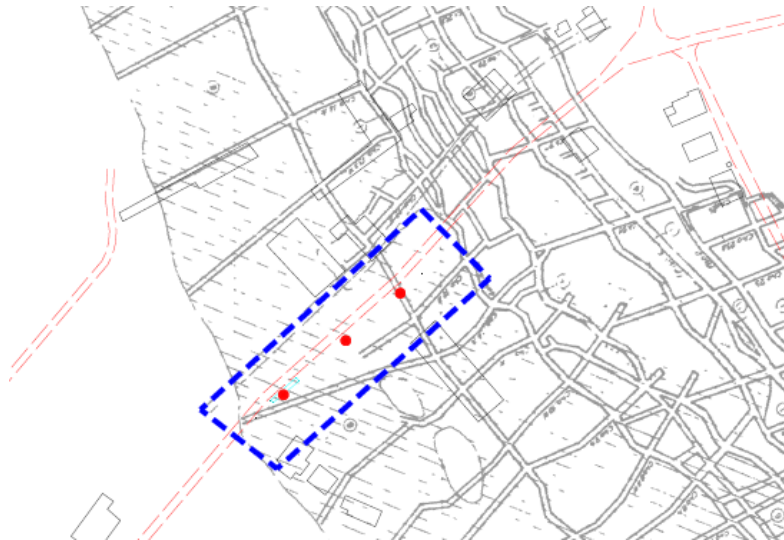


Figura 69– Extrato da sobreposição do P1 com a planta das galerias da mina.
(desenho s/ escala)

Na Figura 70 apresenta-se o radargrama com leitura da “Lineview” da Rua dos Mineiros, a 50 MHz, no perfil P2.

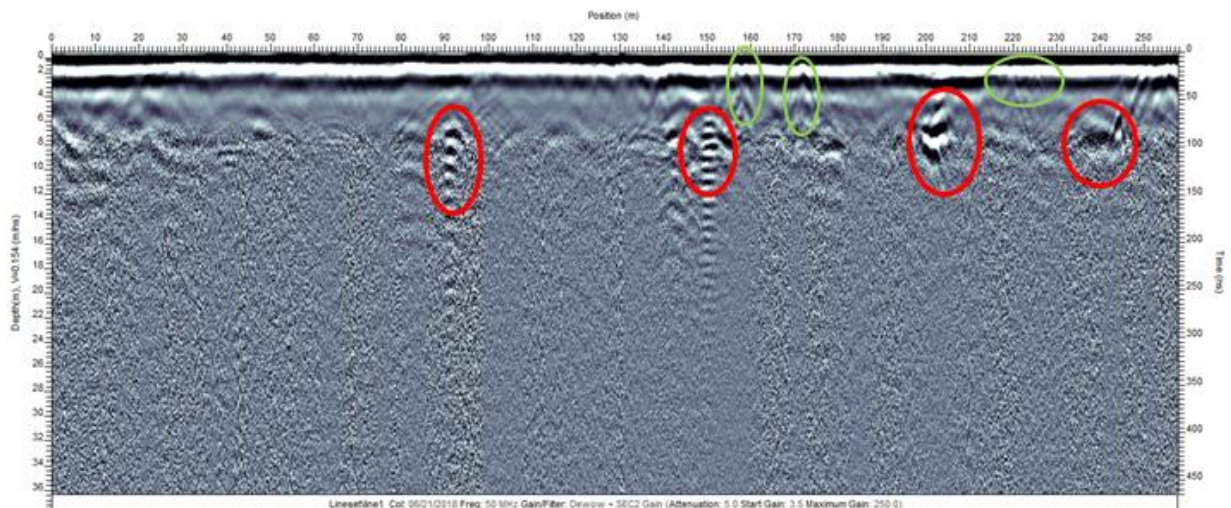


Figura 70– “Lineview” (50 MHz) do P2, na Rua dos Mineiros

Da passagem com o Georadar, verifica-se pela interpretação gráfica, existir aos 90 m, 150 m, 220 m e 240 m, galerias da mina (assinaladas a vermelho). Verifica-se a existência, mais à superfície, da projeção de raízes de árvores aos 160 m, 170 m e 220 m (assinaladas a verde).

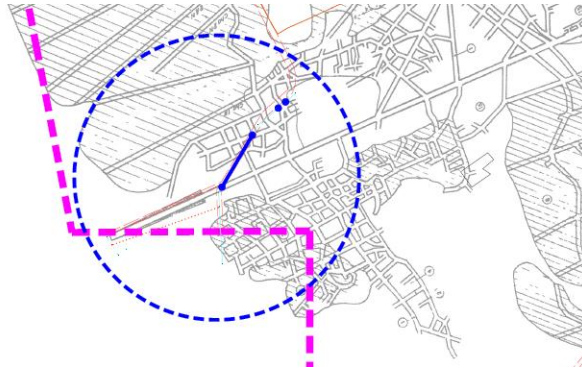


Figura 71– Extrato da sobreposição do P2 com a planta das galerias da mina, na Rua dos Mineiros

A sobreposição do P2 com a planta das galerias da mina (Figura 71) confirma a interpretação relativa à localização de galerias.

Na Rua do Espadanal, zona mais próxima da entrada da mina (Plano Inclinado), foram realizados dois perfis, um ao longo da rua (P3) e outro sobre o Plano Inclinado (em corte transversal).

Na Figura 72 apresenta-se o radargrama com leitura da “Lineview” da Rua do Espadanal, realizado a 50 MHz, no perfil P3.

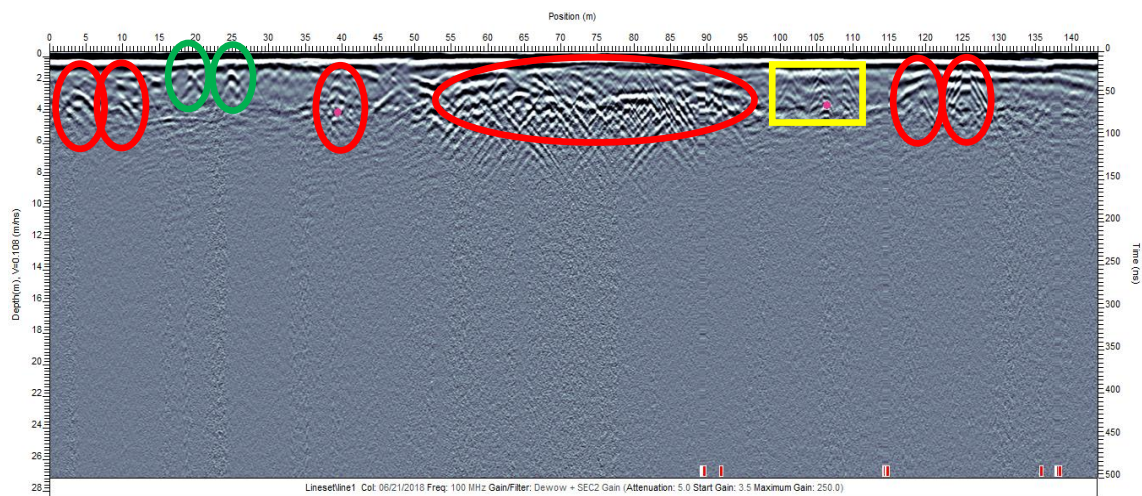


Figura 72– “Lineview” (50 MHz) do P3, na Rua do Espadanal

Da passagem com o Georadar, P3 (Figura 72), pode logo aos 5 e aos 10 m identificar-se o atravessamento de galerias da mina (assinaladas a vermelho). Pela característica gráfica, as anomalias aos 20 e 25 m, sendo que estão bastante próximas da superfície, deduz-se tratar-se de raízes de árvores (a verde). A anomalia registada aos 40 m parece corresponder ao túnel de acesso à mina, fica a dúvida. Entre os 55 m e os 95 m, verifica-se a existência de diversas galerias da mina (zona de exploração), com reflexão acentuada com interface de materiais de contraste até à superfície,

levando a concluir ter ocorrido abatimento do teto de diversas galerias. Entre os 120 m e 125 m, identificam-se mais galerias da mina. Pela mesma razão enunciada se conclui que aos 125 m o teto da galeria está abatido. Não se observa o nível freático porque o terreno é permeável devido às galerias da mina. Assinalada a amarelo aos 100-110 m regista-se uma anomalia, de difícil interpretação, que pode corresponder a raízes de árvores ou a galerias da mina.

Na Figura 73 procede-se à sobreposição do P3 com o mapa da mina confirmando a presença das galerias.

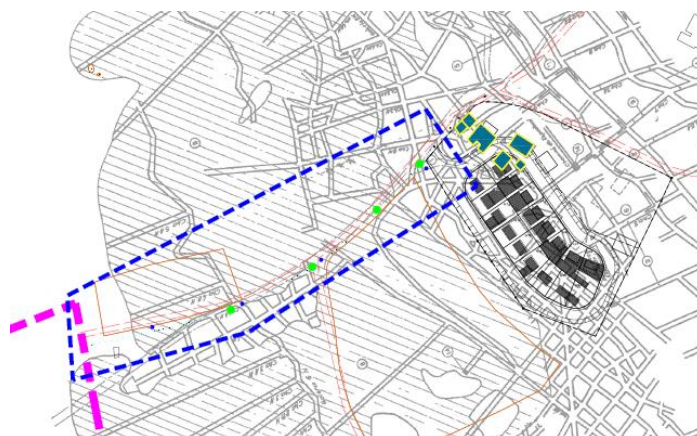


Figura 73– Extrato da sobreposição do P3 com a planta das galerias da mina, na Rua do Espadanal.

Na Figura 74 apresenta-se o radargrama com leitura da “Lineview” (100MHz) realizado junto ao Plano Inclinado. A leitura obtida corresponde ao corte do coroamento do respetivo túnel de acesso (a amarelo). O radargrama nunca fica sem imagem, mesmo nos vazios.

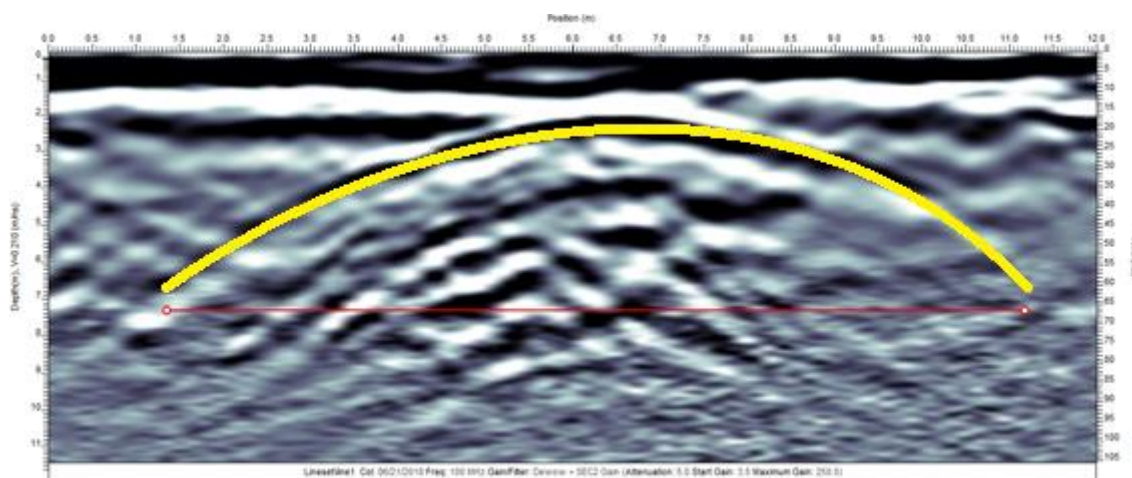


Figura 74– “Lineview” da Rua junto ao Plano Inclinado (100 MHz)

8. Enquadramento da implantação de Galerias da Mina com o PDM de Rio Maior

As galerias da Mina do Espadanal, que aquando da sua exploração se situavam para lá do limite da malha urbana, na periferia da então vila, misturam-se hoje, embora fora do limite urbano, com construções entretanto autorizadas, de edifícios de habitação, comércio e até mesmo de ensino (Figura 75).

De forma a entender as causas de danos ocorridos e perceber os riscos inerentes à legalização de construções existentes, importa avaliar como tem sido previsto o desenvolvimento e a organização do território municipal na zona abrangida pelas galerias da mina, recorrendo-se ao Plano Diretor Municipal (PDM), sendo este um Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT).

Segundo o disposto no artigo 95º do D.L. n.º80/2015, de 14 de maio, o PDM é o instrumento que estabelece a estratégia de desenvolvimento territorial municipal, a política municipal de solos, de ordenamento do território e de urbanismo, o modelo territorial municipal, as opções de localização e de gestão de equipamentos de utilização coletiva e as relações de interdependência com os municípios vizinhos, integrando e articulando as orientações estabelecidas pelos programas de âmbito nacional, regional e intermunicipal.

O PDM é um instrumento de referência para a elaboração dos demais planos municipais, bem como para o desenvolvimento das intervenções setoriais da administração do Estado no território do município, em concretização do princípio da coordenação das respetivas estratégias de ordenamento territorial.

O modelo territorial municipal tem por base a classificação e a qualificação do solo. Estabelece ainda o artigo 95º do D.L. n.º80/2015, de 14 de maio, que o PDM é de elaboração obrigatória, salvo nos casos em que os municípios optem pela elaboração de plano diretor intermunicipal.

O PDM de Rio Maior, entrou em vigor em 1995, tendo sofrido algumas alterações até à data atual em que o mesmo está em fase de revisão.

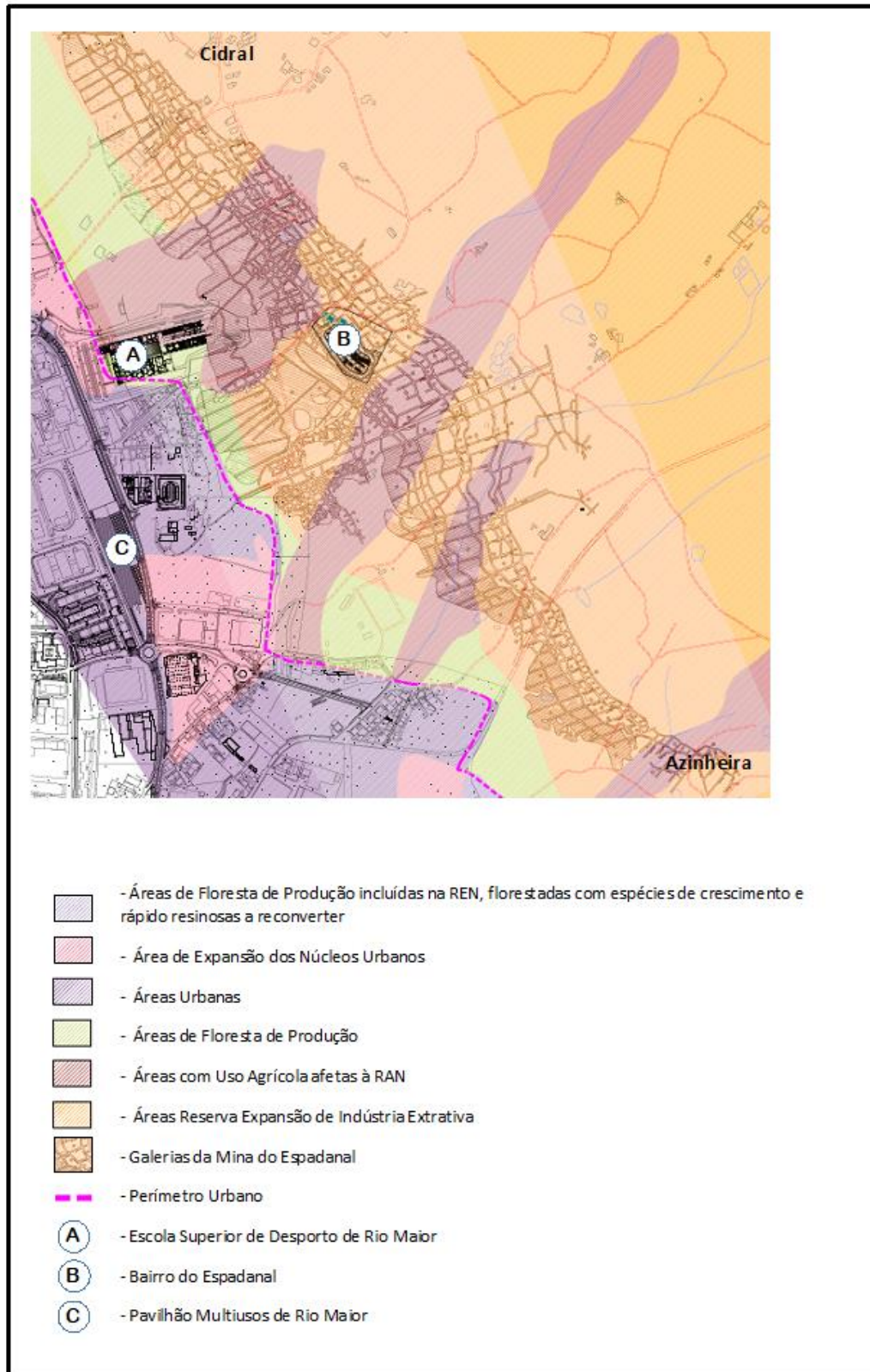


Figura 75 – Sobreposição de extrato da planta da cidade e carta de ordenamento do PDM com implantação das galerias da mina

Conforme ilustra a Figura 75, a área de implantação das galerias da Mina do Espadanal, está inserida parcialmente em área de Reserva de Expansão de Indústria Extrativa, área de Floresta de Produção e área com uso Agrícola afeta à Reserva Agrícola Nacional (RAN).

Define o n.º 1 do art.43º da Secção II do PDM, o destino das áreas de Reserva/Expansão de Indústria Extrativa. Interdita o n.º 2 do mesmo artigo, qualquer ação de edificação para utilização não concordante com o uso destinado a estas áreas.

Na realidade, verifica-se a existência de construções com usos bastantes distintos do uso destinado a estas áreas, como por exemplo para habitação, como é o caso do loteamento do Espadanal assinalado com B, na Figura 75, e outras moradias unifamiliares localizadas na periferia, ou no acesso para Cidral e Casais do Cidral, onde se tem verificado registos de subsidências à superfície e patologias em construções.

Define o n.º 2 do art.50º da Secção II do PDM, o objetivo e destino das áreas de Floresta de produção, tendo em vista a salvaguarda da proteção do solo e das características da paisagem, estas áreas, segundo o n.º 3 do art.50º, ficam sujeitas aos seguintes condicionamentos:

- Pode ser autorizada a construção isolada de edificações de apoio a explorações agrícolas, agro -pecuárias ou florestais. É ainda permitida a construção isolada de edificações destinadas a habitação em parcelas com áreas igual ou superior a 4 ha;
- A altura máxima das construções, com exceção de silos, depósitos de água ou instalações especiais devidamente justificadas, é de 6,5 m;
- O índice máximo de construção é 0,04;
- A área máxima de pavimentos a edificar destinados a habitação, incluindo anexos, é de 1000 m²;
- O afastamento mínimo das edificações aos limites da parcela é de 10 m.
- O abastecimento domiciliário de água e a drenagem de esgotos devem ser assegurados pela constituição de sistemas autónomos de promoção privada, não sendo imputável à autarquia a extensão das redes públicas.

Dentro desta área está construído o edifício da Escola Superior de Desporto de Rio Maior assinalado com A (Figura 75).

Define o n.º 2 do art.45º da Secção II do PDM, a constituição das áreas com uso Agrícola afeta à RAN e Áreas com Uso não Agrícola a reconverter, afetas à RAN, sendo que a estas áreas segundo o n.º3 do art. 6º do mesmo regulamento:

Quando, de acordo com o estabelecido no D.L. n.º 196/89 e 274/92, seja concedido parecer prévio favorável à utilização com fins de edificação, de solos integrados na R.A.N., ficaram as mesmas edificações sujeitas aos seguintes condicionamentos:

- Índice máximo de construção aplicado à parcela — 0,08;
- Superfície máxima de pavimento, incluindo habitação – 1000 m²;
- Superfície máxima de pavimento de habitação – 200 m²;
- Número máximo de pisos -2
- O abastecimento domiciliário de água e a drenagem de esgotos devem ser assegurados por sistema autónomo, salvo se for procedido ao licenciamento da extensão de redes públicas, a custos do interessado.

9. Medidas de Redução de Risco

9.1 Previsão do enquadramento em Revisão do PDM

O PDM é o instrumento de gestão territorial privilegiado para operar a interface entre ordenamento do território e gestão de riscos no âmbito local, por várias razões (Julião, Nery, Ribeiro, Branco, & Zêzere, 2009):

- Em primeiro lugar, porque abrange a totalidade do território municipal (é o único plano municipal de ordenamento do território que o faz);

- Em segundo lugar, porque é um instrumento estratégico e programático, através do qual o município afirma a sua estratégia de desenvolvimento territorial, define a sua política de ordenamento do território e de urbanismo e a respetiva articulação com as demais políticas urbanas, integra e articula as orientações estabelecidas pelos instrumentos de gestão territorial de âmbito nacional e regional com as suas próprias opções de ordenamento e estabelece o modelo de organização espacial do território municipal;

- Em terceiro lugar, porque é um instrumento de referência para a elaboração dos demais planos municipais de ordenamento do território (planos de urbanização e planos de pormenor) e para o estabelecimento de programas de ação territorial, bem como para o desenvolvimento das intervenções sectoriais da Administração central no território do município;

- Finalmente, porque tem natureza de regulamento administrativo, sendo vinculativo não apenas da Administração, mas também dos particulares.

Uma vez que o PDM define o quadro estratégico de desenvolvimento territorial do município e o correspondente modelo de organização territorial, sendo da responsabilidade do município a sua elaboração, bem como a sua revisão, vinculando a administração e os particulares, importa que tenha plasmada a existência de toda a zona explorada das Minas do Espadanal, condicionando-se certos tipos de uso ou ocupação do solo, bem como o licenciamento de construção em determinadas zonas consideradas de risco (Figura 76 e Figura 77).



Figura 76 e Figura 77- Registo fotográfico a 22 de dezembro de 2018, de Construção em curso, na Rua Cidade de Rio Maior, em zona de risco

9.2 Elaboração de Mapas de Risco

Segundo o “Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal”, editado pela Autoridade Nacional de Proteção Civil em 2009, a produção da cartografia municipal de risco implica a criação de um Sistema de Informação Geográfica, a partir do qual seja possível produzir as seguintes peças cartográficas:

- Cartas de suscetibilidade para cada um dos perigos identificados no território municipal - As cartas de suscetibilidade representam a incidência espacial dos perigos. Identificam e classificam as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado. A avaliação da suscetibilidade de uma área a determinado perigo efetua-se através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações perigosas, de forma qualitativa;

- Carta municipal de elementos expostos - A Carta de Elementos expostos deve ser elaborada sobre uma carta topográfica atualizada, que tenha uma exatidão posicional compatível com os requisitos que são estabelecidos para a cartografia de referência do PDM no Decreto-Regulamentar n.º 10/2009, de 29 de maio (5 metros em planimetria e altimetria);

- Cartas de localização de risco para cada um dos perigos identificados no território municipal. As Cartas de Localização do Risco resultam da sobreposição simples da Carta de Elementos Expostos com cada uma das cartas de suscetibilidade. Estas cartas procedem à identificação das áreas de risco sem efetuar a avaliação quantitativa do mesmo. Trata-se de um importante elemento para o planeamento de emergência e o ordenamento do território, servindo de base para a formulação das

opções a consubstanciar no Plano Diretor Municipal - PDM e Plano Municipal de Emergência - PME.

A elaboração da cartografia municipal de risco é uma referência fundamental para o trabalho técnico de revisão dos PDM, devendo orientar as opções de ordenamento dos municípios, no sentido de evitar a ocupação de áreas territoriais de maior suscetibilidade aos perigos localmente relevantes. Deve também orientar as decisões de gestão territorial no sentido de melhorar as condições de desempenho dos principais equipamentos de utilização coletiva e infraestruturas territoriais e urbanas em caso de acidente natural ou tecnológico. Trata-se, por um lado, de utilizar as Cartas de Suscetibilidade para identificar as áreas perigosas do território e, por outro lado, de utilizar as Cartas de Elementos Expostos para identificar situações específicas de exposição ao perigo que devam merecer medidas prioritárias de mitigação, nomeadamente do ponto de vista da melhoria da sua acessibilidade ou da sua resiliência em caso de acidente.

As Cartas de Suscetibilidade fornecem à equipa técnica responsável pela revisão do PDM um “zonamento” que traduz a incidência espacial dos perigos identificados como relevantes no território municipal. Assim, representam a propensão de cada área de território para ser afetada por um determinado perigo. Com base nesta informação, é possível ponderar:

- As vantagens comparativas de ocupação das diferentes áreas do território municipal;

- O tipo de ocupação compatível ou mais apropriado às condições de cada área. Por sua vez, as Cartas de Elementos Expostos evidenciam os elementos construídos, as situações de ocupação humana e os sistemas produtivos que são mais afetados pelos perigos identificados no território municipal.

Têm particular relevância nesta análise:

- Os elementos expostos estratégicos, vitais e/ou sensíveis, fundamentais para a resposta à emergência: rede hospitalar e de saúde, rede escolar, quartéis de bombeiros e instalações de outros agentes de proteção civil e autoridades civis e militares, e sistemas de suporte básico às populações (origens e sistemas principais de abastecimento de água, rede elétrica, centrais e retransmissores de telecomunicações);

- As concentrações populacionais e as situações de povoamento disperso e isolado, sobretudo quando envolve populações idosas ou de mobilidade reduzida;

- Os sistemas produtivos mais dependentes de abastecimento externo: pecuária, indústrias agroalimentares de produtos perecíveis, etc. Com base nesta informação, é possível ponderar, nomeadamente, medidas dirigidas às condições de desempenho dos elementos expostos estratégicos, vitais e/ou sensíveis (melhoria dos sistemas de acessibilidade, do abastecimento energético, reforço e proteção estrutural, etc.) e eventuais medidas de realocação de elementos expostos.

Os resultados destas ponderações devem ser traduzidos:

- No modelo de organização espacial do território municipal e na classificação e qualificação do solo adotados no PDM;

- Nos regimes de uso estabelecidos para cada categoria e subcategoria de solo no Regulamento do plano;

- No Programa da Execução do plano, em particular nos casos em que são previstas medidas de melhoria dos sistemas de acessibilidade e do abastecimento energético e medidas de realocação de elementos expostos;

- No Relatório do plano, que poderá incluir um capítulo específico sobre a gestão de riscos, contendo orientações para a execução coordenada das medidas previstas no plano. É na fase de caracterização e diagnóstico do procedimento de revisão do PDM que devem ser identificados os perigos relevantes e representadas cartograficamente as zonas de suscetibilidade a esses perigos. É também nesta fase que se deve proceder à articulação com a cartografia da REN (promovendo, se necessário, a respetiva atualização), de forma a harmonizar a delimitação das áreas expostas a riscos naturais nas cartas de localização de risco e na carta da REN.

Essa informação deve ser subsequente tida em consideração:

- Na fase de conceção, avaliação e seleção dos cenários de desenvolvimento territorial;

- Na fase de formalização da proposta de modelo de organização espacial do território municipal e do regime de uso do solo aplicável a cada área delimitada na planta de ordenamento.

O cruzamento das Cartas de Suscetibilidade e da Carta de Elementos Expostos com os vários modelos potenciais de organização espacial que correspondem a cada cenário, permite avaliar com rigor as vantagens e inconvenientes de cada modelo, do ponto de vista da gestão dos riscos, e fundamentar a decisão quanto ao modelo territorial a adotar. O preconizado para a revisão do PDM é aplicável, com as necessárias adaptações, à elaboração e revisão dos demais planos municipais de ordenamento do território.

Com base no cadastro existente das Minas do Espadanal e com o conhecimento adquirido com base em documentação e testemunhos de antigos trabalhadores, importa proceder à elaboração de um mapa de riscos que sirva por um lado à revisão do PDM e por outro aos serviços da Proteção Civil, permitindo o levantamento, a previsão, a avaliação e a prevenção dos riscos; a análise permanente das vulnerabilidades perante situações de risco; o planeamento de soluções de emergência, visando a busca, o salvamento, a prestação de socorro e de assistência e estudo e divulgação de formas adequadas de proteção dos edifícios.

9.3 Reabilitação da área da Mina do Espadanal

A recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas foi atribuída em concessão à Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), através do Decreto-Lei n.º 198-A/2001, de 6 de julho posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 60/2005, de 9 de março. Prevê este Decreto-Lei, a recuperação das áreas mineiras degradadas, visando a valorização ambiental, cultural e económica, garantindo a defesa do interesse público e a preservação do património ambiental.

De facto, define o art. 2º o âmbito de aplicação do diploma, como sendo: Áreas mineiras degradadas, entendendo-se como tais, as áreas mineiras que constituam um fator de risco potencial para a saúde humana ou para a preservação do ambiente que justifique a intervenção do Estado.

a) Áreas abandonadas localizadas na zona de influência de antigas explorações mineiras desativadas, cujas empresas concessionárias não possam ser responsabilizadas pelas consequências ambientais decorrentes daquela atividade, porque as respetivas concessões já reverteram para o Estado ou porque essas empresas se encontram dissolvidas por falência;

b) Áreas objeto de exploração mineira iniciada antes da entrada em vigor do Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de março, e já desativadas até essa data, independentemente de atuais concessões de exploração para esse fim;

c) Áreas de exploração mineira, designadamente as de minerais radioativos, relativamente às quais seja reconhecido o interesse público da intervenção do Estado, mediante despacho conjunto dos Ministros da Economia e do Ambiente e do Ordenamento do Território.

De acordo com o disposto no Decreto-lei nº 198/A de 2001, foram inventariadas e caracterizadas pela EDM, 175 áreas mineiras degradadas em todo o país, das quais 3 minas de carvão, destacando-se São Pedro da Cova e Pejão como mais relevantes, não constando nesta listagem a Mina do Espadanal (Figura 78).

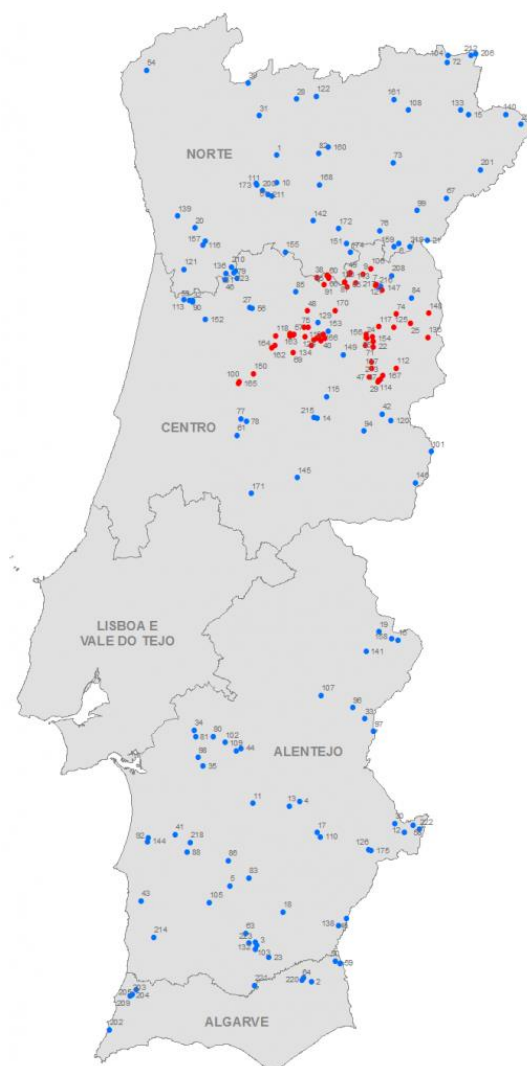


Figura 78 - A Inventariação e Caracterização das Áreas Mineiras Abandonadas
(Fonte: EDM, SA – www.edm.pt)

Problemas de segurança que se prendem com o abandono de antigos trabalhos mineiros, cujas infraestruturas constituem perigo iminente para terceiros, têm tido intervenções no âmbito do protocolo estabelecido entre a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e a EDM (Pereira J. S., 2015).

As atuações realizadas pela EDM, que têm vindo a ser desenvolvidas, com base num plano geral que considera como principal critério para intervenção, uma ponderação da perigosidade verificada em função do tipo de exploração tem compreendido essencialmente as seguintes atividades:

- Colocação de vedação;
- Selagem ou preenchimento de poços mineiros;
- Demolição de antigas estruturas mineiras degradadas;
- Selagem de subsidências;
- Implementação de drenagens superficiais e cobertura com materiais de empréstimo para eliminação de erosão de solos.

Tendo adquirido diversas parcelas do couto mineiro em 1999, totalizando cerca de 110 mil metros quadrados, a Câmara Municipal de Rio Maior, já utilizava os edifícios como armazéns e oficinas, desde a década de 80.

A utilização dos espaços, levou a alterações de adaptação às necessidades, dado o fim a que se destinavam, adulterando de alguma forma, a configuração dos edifícios.

A 29 de novembro de 2010, é fundada a EICEL, - A Associação para a Defesa do Património Mineiro, Industrial e Arquitetónico, de Rio Maior.

A EICEL 1920 defende, desde a sua criação em 2010, uma proposta de definição de novos usos e recuperação faseada da antiga fábrica de briquetes e plano inclinado de extração da Mina do Espadanal, assente em estudos científicos publicados, e que prevê a criação de um Núcleo Museológico Mineiro tendo como primeira fase a instalação de um Centro de Interpretação do Património Geológico e Mineiro do Concelho de Rio Maior (Rio Maior.blogspot, 2019).

Com a transferência dos serviços camarários para novas instalações, libertaram-se estes edifícios, aguardando a sua reabilitação.

Em fevereiro de 2017, a Câmara Municipal de Rio Maior cede gratuitamente um dos edifícios da desativada mina do Espadanal, a antiga secção de trituração, à associação EICEL 1920 - Associação para a Defesa do Património Mineiro, Industrial e Arquitetónico para esta passar a desenvolver aí a sua atividade.

A EICEL promove ações voluntárias de conservação do património mineiro, a promoção de iniciativas tendentes à classificação do conjunto edificado composto pela antiga fábrica de briquetes e plano inclinado de extração da Mina do Espadanal.

O Município, ao longo do tempo, foi investindo na limpeza e conservação do espaço envolvente e em 2018 procedeu à vedação do perímetro envolvente ao edifício da Fábrica de briquetes, secção de trituração, chaminé e entrada do plano inclinado (Figura 79).



Figura 79 – Vedação do perímetro da mina do Espadanal (Zona edificada)

Não existindo uma ação preventiva, que evite o aparecimento de subsidências, o município já por diversas vezes procedeu ao enchimento de subsidências do tipo “cova” no terreno referenciado como Zona Z1 da figura 61, e no muro que ruiu na Rua cidade de Rio Maior no acesso a Cidral (Figura 55).

10. Outras Ameaças

10.1 Degradação do Património Edificado

O Património Edificado, ainda restante, da Mina do Espadanal, representa perigo para a zona circundante e para quem a frequente. O estado devoluto em que se encontram os diversos edifícios e infraestruturas, com especial destaque para a antiga fábrica de briquetes, a chaminé da mina (Figura 81 e Figura 82) e o Plano Inclinado (Figura 80), exigem uma intervenção de reabilitação, para que a contínua degradação, não termine na necessidade de demolição deste património industrial. A chaminé da Mina, em betão armado, de formato octagonal e com cerca de 70 m de altura, é exemplo dessa mesma necessidade, pela degradação visível do seu topo, com corrosão das armaduras e desprendimento do betão de revestimento, que ameaçam a integridade física a quem circule na sua base.

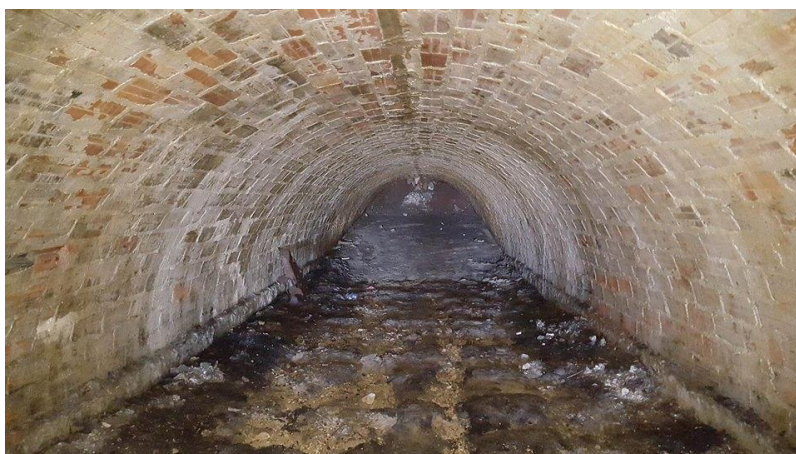


Figura 80 – Interior acessível do túnel do Plano Inclinado, obstruído pela derrocada parcial do seu traçado

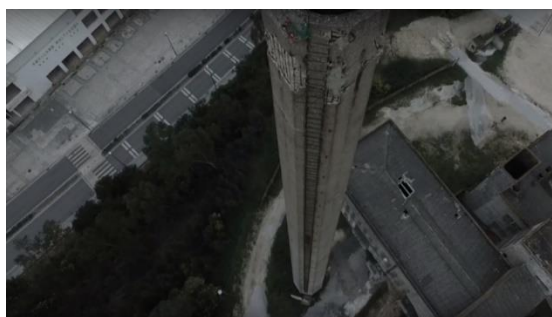
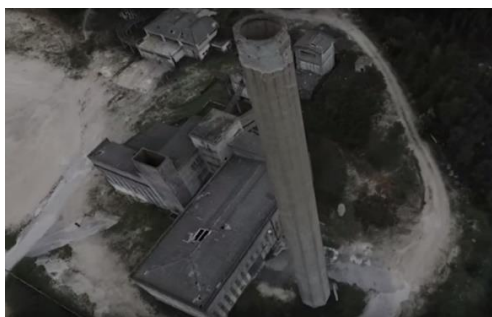


Figura 81 e Figura 82 – Estado de conservação atual da chaminé da mina, do edifício da fábrica de briquetes, trituração e secagem de carvão

10.2 Contaminação de águas subterrâneas

Os depósitos de lenhite do Pliocénico estão associados a contaminações ambientais quer quando usadas industrialmente, quer mesmo apenas pela sua presença *in situ*, podendo estar associada à ocorrência de determinadas doenças. A nefropatia endémica dos Balcãs (BEN) é um desses casos, cuja relação entre a ocorrência da doença e dos depósitos de lenhite já foi detetada (Orem, Feder, & Finkelman, 1999).

Compostos orgânicos, tais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e aminas aromáticas podem ser tóxicos e responsáveis por esta doença. O carvão, é fonte destes compostos quando lixiviado pelas águas de percolação (Cunha, et al., 2012).

Em Portugal, sendo as lenhites de Rio Maior o depósito mais importante de carvões de grau inferior, e o facto da própria cidade de Rio Maior estar próxima dos limites da bacia, podem indicar que as nefropatias já diagnosticadas na região podem estar relacionadas com o contexto geológico, nomeadamente pela presença destes carvões (Orem, et al., 2007).

De acordo com o resultado do estudo das lenhites de Rio Maior do Pliocénico por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de carbono-13 (Flores & Orem, 2007), foram estudadas seis amostras selecionadas de acordo com a composição petrográfica.

Os espectros das amostras do topo da sequência (camadas A e D) são muito semelhantes aos encontrados para as lenhites das áreas endémicas de BEN (Nefropatia Endémica dos Balcãs). Deste modo, os compostos tóxicos orgânicos lixiviados das lenhites podem contaminar os aquíferos da região.

De facto, têm sido identificadas nefropatias na região de Rio Maior, mas o aspeto geológico nunca foi considerado como uma possível causa desta doença. Esta, pode ser relacionada à lixiviação de compostos orgânicos tóxicos de depósitos de carvão de baixo nível do Pliocénico (lenhite) em água de abastecimento (Orem, Feder, & Finkelman, 1999).

10.3 Risco de incêndio

Estando grande parte da mina em zona florestada a ocorrência de incêndio na zona poderá levar à combustão das lenhites. Note-se o que ocorreu nas minas do Pejão que após mais do que um ano decorrido dos incêndios de outubro de 2017 continuam em combustão não se prevendo quando poderão ser extintos. Esta combustão leva à libertação de grandes quantidades de gases para a atmosfera que além de contribuírem para o aumento do efeito de estufa a nível global, contribuem negativamente para a qualidade de vida das populações ali residentes.

Com o encerramento das minas, deixaram de existir escombrelas, e consequentemente o perigo que noutros tempos, causou acidentes mortais nas minas do Espadanal (Figura 83), mantendo-se o perigo, não à superfície, mas sim no subsolo.



Figura 83 – Notícia in *Século* 29-09-1958, referente à combustão da lenhite na escombrela da mina, com dez anos de duração, e consequências da mesma

11.Registo de Testemunhos

Com o intuito de recolher testemunhos na primeira pessoa, de vivências e conhecimentos sobre situações relevantes para o tema abordado, foram entrevistados alguns intervenientes na existência e laboração do couto mineiro do Espadanal. Segue-se o modelo de entrevista a ser seguido e que foi aplicado ao Sr. Marcelino Machado que trabalhou na mina entre 1954 e 1969 e acompanhou a campanha de investigação com o Georadar contribuindo o seu conhecimento também para a interpretação das anomalias registadas durante a elaboração dos perfis.

Nome : Marcelino Pedro Machado

Idade: 83 anos (3 de fevereiro 1936)

Natural de Benedita, concelho de Alcobaça

Trabalhador da Mina do Espadanal entre 1954 e 1969



Q: Quando iniciou o seu trabalho no Couto mineiro do Espadanal? Durante quanto tempo?

R: Trabalhei 15 anos, desde 1954 a 1969.

Q: Quais as suas funções durante esse tempo?

R: Foram várias, desde safreiro, que é a primeira coisa que se faz, depois passei a mineiro e depois a mestre de vias (assentar os carris), depois guincheiro (puxar as vagonetas à superfície), depois trabalhei na fábrica de briquetes, no moinho de martelos para derreter o carvão, depois trabalhei no cais na carga dos comboios. Estive posteriormente 4 anos como gerente da cooperativa (da cantina).

Q: Durante estes 15 anos teve conhecimento da ocorrência de subsidências?

R: Sim, constantemente havia abatimentos. Os abatimentos aconteciam quando se explorava a 1ª camada, mais superficial, com menos segurança e com mais possibilidade de abater. Com a presença de água, o terreno começava a deslocar para baixo, acontecendo os abatimentos.

Q: Estes ocorreram com maior frequência em que zona do couro mineiro?

R: Estes aconteceram com maior frequência na 1ª talhada, desde a Rua dos Mineiros até ao Cidral e também perto da Azinheira. A camada aproximava-se da superfície e os trabalhos acompanhavam a sua orientação, e a exploração ficava mais perto do solo, e quanto mais perto do solo estiver, mais probabilidades de abater.

Q: Qual o método de desmonte que utilizavam?

R: A frente era abandonada e depois recuava-se, desmontando-se as estruturas de madeira e o teto caía todo e era aí que rendia o carvão para o mineiro e para o safreiro e até para o vagoneiro, pois era trabalho de empreitada e era nestes desmontes que aconteciam sempre os abatimentos, porque abria-se ali uma sala enorme que abatia sobre si mesma. Nas galerias nunca havia abatimentos. As galerias tinham 2x2m e estavam bem entivadas.

Q: Estas subsidências provocaram danos em edifícios ou infraestruturas?

R: Sim, aconteceu na Azinheira em que caiu uma adega. Na exploração, tiveram de recuar e desviar as galerias para outro lado. Começou a cair a adega e existiram mesmo indemnizações.

Q: Quando estas subsidências ocorriam, como as resolviam. Eram os proprietários que intervinham ou a empresa responsável?

R: Era a empresa que era a responsável por isso. Eram sinalizadas algumas situações e as outras eram cheias, aterradas com terra natural, com recurso a máquinas e camiões. O proprietário exigia que fosse terra boa para agricultura. Isso aconteceu em vários lados e a última foi na década de 80, perto do local em que hoje é o refeitório da Escola Superior de Desporto.

Q: A exploração da mina do Espadanal, fez-se até que profundidade?

R: Fez-se até aos 65 metros, mas aí não há hipótese de abatimento, pois já é muito profundo. O terreno fragmentava-se até certa profundidade, mas depois parava.

Q: Quantas talhadas foram feitas?

Foram feitas 3 talhadas, sendo a última aos 65 m. A primeira talhada era mais superficial, até aos 27 m. A segunda talhada foi feita até aos 40 m.

Q: Que tipo de abatimentos ocorriam?

R: Apareciam buracos e também se formavam bacias. Estas ocorriam quando as galerias eram paralelas e quando se queria aproveitar tudo ao máximo. E ocorriam quando da 1ª camada entre os 20 e 30 m de profundidade.

Q: Quais eram mais frequentes?

R: Normalmente o abatimento era lento. Após o encerramento da mina, era eu que vigiava frequentemente e monitorizava os abatimentos que ocorriam. De inverno tinha algum receio em fazer esta vigilância e uma vez houve um abatimento mesmo atrás de mim. Os registos das ocorrências eram enviados para a EDP, que geriam o couto após o encerramento.

Q: Até quando fez essa vigilância?

R: A vigilância foi feita até 1999, ano em que a câmara adquiriu o complexo mineiro.

Q: Existiam escomboreiras na mina?

R: Sim, havia uma reserva grande de carvão, onde hoje é o centro escolar n.º2. Funcionava como reserva de carvão. Quando faltava o carvão no fundo, existia ali uma reserva para a fábrica não parar. Mas era muito e inclusive morreu lá uma menina queimada, porque o carvão devido à sua humidade, incendiava-se por baixo e por cima não se dava por isso. Fui eu, com dois colegas que a tirámos.

Q: Existiam problemas com o esgoto da mina?

R: A grande preocupação eram as águas era como as retirar das galerias, tendo que utilizar dois grupos potentes de bombas e um outro suplente, para que o nível de água não subisse de imediato nas galerias, impedindo a prossecução dos trabalhos.

Q: Como era feita a entivação das galerias da mina?

R: A entivação era feita com recurso a três toros de madeira de diâmetro entre 30 a 40 cm, em pinho ou eucalipto, cujo uso era mais frequente. Dois toros, eram encostados à parede de carvão. Faziam-se talhadas na madeira, depois levava o terceiro toro, por cima, sendo este encaixado nos outros dois. Onde o carvão estava fragmentado, levava tábuas ligadas ao teto, para não esta sempre a cair pedaços de carvão.

Q: Era frequente ocorrer a degradação dos toros de madeira e consequentemente da entivação das galerias?

R: Sim, mas era de imediato alvo de intervenção de reabilitação. A madeira começava a “ajoelhar” e tinha de ser substituída. Havia uma brigada a fazer só isso.

Q: Que medidas tomava a empresa que prevenisse ou minimizasse situações de subsidência?

R: Esses abatimentos nunca provocaram perigo. Quando aconteciam eram de imediato aterrados. Na estrada do Cidral chegou a acontecer.

Q: Tem conhecimento de evidências, atualmente, de danos em edifício, terrenos ou infraestruturas, que possam ter relacionamento com a existência de galerias da mina?

Não. Há exceção da situação de um armazém na Rua Cidade de Rio Maior, na estrada para o Cidral, não tenho conhecimento de danos em edifícios ou infraestruturas. Em terrenos, há deformações e bacias derivadas de assentamentos.

12. Conclusões

12.1 Considerações finais

A presente dissertação teve como objetivo central o estudo das subsidências ocorridas no caso de estudo: o complexo mineiro do Espadanal, nomeadamente a sua origem, localização, caracterização, riscos no presente e futuro e medidas de minimização de impacto.

Para se proceder à identificação e localização das subsidências ocorridas no passado e presente, recorreu-se à pesquisa documental e testemunhal de antigos mineiros. Procedeu-se então ao levantamento topográfico e demarcação das zonas a estudar. Para melhor caracterização destas zonas de afloramento da lenhite e mais suscetíveis à ocorrência de subsidência, recorreu-se à utilização de equipamento Georadar ou GPR com antenas de 50 MHz e 100 MHz, que neste estudo permitiu obter imagens nítidas, das galerias mais superficiais, recorrendo-se posteriormente ao software computacional, interpretando-se os radargramas resultantes;

A interpretação dos radargramas possibilitou a localização de galerias, concluindo-se o estado estrutural das mesmas, se já colapsadas ou não.

Desta forma, pode verificar-se que em zonas de maior afloramento já havia ocorrido o colapso de galerias, tendo as mesmas sido aterradas ou seladas nas zonas de subsidência, mas que a sua continuidade, continua suscetível de colapsar.

As zonas de subsidência por afundamento em bacia, correspondem às zonas em que as galerias se encontravam a maior profundidade.

Em fase de exploração, o método de desmonte “Long-wall”, substituindo o método de pilares abandonados, era tido como um sucesso dado reduzir as perdas de carvão, mas foi também o causador de maiores subsidências de que há registo no couro mineiro.

Além do método de lavra, outros fatores são determinantes para a origem de uma subsidência, como por exemplo a profundidade da extração, o tamanho e configuração das galerias, a taxa de avanço ou extração, a espessura da costura, as características topográficas, a litologia ou a hidrologia.

A previsão temporal da ocorrência de subsidências, é de extrema dificuldade, mas é possível estimar o seu impacto, através da determinação da sua área à superfície e da classificação dos danos que pode provocar.

12.2 Trabalhos futuros

O complexo de galerias da mina do Espadanal, que originalmente se localizava nos limites da malha urbana da então vila, faz hoje parte da malha urbana da cidade, mesmo que menos densificada que o centro.

A não consideração do complexo mineiro, enquanto indústria extrativa, com a ramificação de galerias ilustrada pelas plantas constantes da presente dissertação, no Plano Diretor Municipal, permitiu a construção de edifícios em zonas que se consideram críticas, suscetíveis de ocorrência de subsidências com possíveis danos estruturais visíveis, sendo que já existem casos registados.

Para a caracterização e monitorização de danos em edifícios, infraestruturas ou terrenos, são propostas fichas para levantamento e caracterização de patologias, para que no futuro se possa acompanhar a evolução do comportamento estrutural dos edifícios, das infraestruturas e mesmo do solo, na zona demarcada de ocupação subterrânea pelas galerias da mina de acordo com os elementos cartográficos existentes.

Importa que o Plano Diretor Municipal ou outros instrumentos de gestão territorial, Plano Municipal de Emergência e Plano Estratégico, considerem a existência da Mina do Espadanal, e toda a sua área de influência, estabelecendo-se as necessárias restrições, medidas preventivas e de intervenção, recorrendo-se do apoio da EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, concedendo-lhe a real importância, face ao perigo que representa e à área que ocupa.

É necessário que se tomem medidas proativas de implementação de drenagens superficiais e cobertura com materiais de empréstimo para eliminação de erosão de solos, reparação ou demolição de antigas estruturas mineiras degradadas, consoante o perigo e interesse patrimonial que representem. Deve promover-se a selagem ou preenchimento de poços mineiros e selagem de subsidências. Deve proceder-se à sensibilização da comunidade, sendo que os proprietários, devem ser os primeiros a denunciar ocorrências que se verifiquem.

É igualmente importante que se continue o trabalho de monitorização das subsidências registadas, aproveitando os levantamentos topográficos existentes, para se fazer o acompanhamento evolutivo das mesmas, permitindo atempadamente serem tomadas decisões.

Em termos jurídicos, é necessário que se legisle quanto à responsabilidade por danos em terrenos ou edifícios particulares, por fenómenos de subsidência que ocorram, provenientes da existência de galerias no subsolo, de minas abandonadas.

Sendo por diversas vezes manifestado o interesse municipal, na reabilitação do edificado das minas, convertendo-o num centro interpretativo ou núcleo museológico deste legado, importa que a monitorização e estabilização das antigas galerias, não sejam esquecidas.

13. Referências Bibliográficas

- Alves Cantini Cardozo, F., Zingano, A., Zampiron, M., & Cordova, D. (2015). *Geomecânica para a lavra de carvão por Longwall*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Baccin, F. (2011). As actividades de produção de carvão e suas subsequências ambientais com relação aos eventuais processos de subsidência. UNESC-Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma: Monografia de Pós-Graduação Especialização em Auditoria e Perícia Ambiental.
- Braga, A. (19 de Janeiro de 1960). Informação sobre o Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos.
- Brown, B. a. (1993). *Rock mechanics for underground mining*. Dordrecht: Springer.
- Cardoso, E. (1943). *Relatório dos trabalhos realizados no Couto Mineiro do Espadanal*. Rio Maior: AHMIN, DGEG.
- Carneç, C., & Delacourt, C. (2000). Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gardanne, France. *Journal of Applied Geophysics*.
- Carvalho, D. M. (2010). *Patologias das fundações: fundações em depósitos de vertente e solos*. Funchal.: Universidade da Madeira.
- Catita, C. M. (2007). Interferometria radar por satélite aplicada ao estudo da morfologia e da deformação da Região Pico-Faial. *Tese de Doutoramento*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Colorado Division of Reclamation, Mining & Safety. (2009). *Subsidence Above Inactive Coal Mines: Information for the Homeowner*.
- Colorado School of Mines. (2018). *Inside.Mines*. (Colorado School of Mines) Obtido em 30 de 12 de 2018, de http://inside.mines.edu/fs_home/tboyd/Coal/sub_theory/: http://inside.mines.edu/fs_home/tboyd/Coal/sub_theory/
- Conceição, J. M. (1942). *Estudo de Exploração das Minas de Rio Maior*. Rio Maior: Ministério do Comércio e Indústria - Repartição de Minas.

- Corrêa R., R. M. (2017). Percepção da População acerca das soluções propostas pelo estado para conflitos socioambientais de minas subterrâneas de carvão em Criciúma - SC. *REV. ADM. UFSM, Santa Maria, 10*(2 (p.357-377)).
- Costa, I. C. (1999/2000). As Minas de Lignite de Rio Maior e sua importância socio-económica. *in Região de Rio Maior*.
- Cunha, P., M, L. d., A, P. d., Rodrigues, C., Telles Antunes, M., & Tomás, C. (2012). O Carvão em Portugal: Geologia, Petrologia e Geoquímica / Coal in Portugal: Geology, Petrology and Geochemistry. *O Carvão na Actualidade, Vol 1 - Petrologia, Métodos analíticos, Classificação e Avaliação de Recursos e Reservas, Papel no contexto energético, Carvão em Portugal, I, Edições Universidade Fernando Pessoa*. Porto: Edições Universidade Fernando Pessoa.
- Curi, A. (2017). *Lavra de Minas*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Dinheiro Vivo*. (23 de 05 de 2013). Obtido em 26 de 01 de 2019, de <https://www.dinheirovivo.pt/>: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/kiruna-acidade-sueca-que-esta-a-mudar-de-lugar-para-salvar-o-negocio-do-ferro/>
- Duarte, F. (1979). *História de Rio Maior*. Rio Maior: Edição do Autor.
- Dutta, K. (1971). Coal resources of India. India: Mem. Geol. Surv.
- Fernandes, F. M. (2007). Aplicações do Georadar na reabilitação e deteção de anomalias. *Congresso de Construção 2007, 3.º Congresso Nacional*. Coimbra.
- Filipe, A., Inverno, C. M., Oliveira, D. P., Santana, H., Matos, J. X., Ramos, J. F., . . . Leite, M. (2010). *Recursos Minerais - O Potencial de Portugal*. Lisboa: LNEG-Laboratório Nacional de Energia e Geologia .
- Flores, D., & Orem, W. H. (2007). Study of Rio Maior Lignites by Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. In: XV Semana de Geoquímica e VI Congresso Ibérico de Geoquímica. *Geoquímica - XV Semana , VI Congresso Ibérico*, (pp. Livro de Resumos, p. 223; CD-ROM, p. 540-543). Vila Real.
- Gaspar, A. F., Chaminé, H. I., & Silva, P. B. (1995). Controlo geológico-estrutural da subsidência mineira na mina de Germunde. *IV Congresso Nacional de Geologia*. Porto: Universidade do Porto - Faculdade de Ciências.

Gomes, S. M. (2008). *Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Minas "Caracterização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica da Área Mineira de Germunde, Pejão"*. Instituto Superior Técnico,, Lisboa.

<https://www.dnr.illinois.gov/mines/AML/Pages/Subsidence.aspx>. (s.d.). Obtido em 10 de 06 de 2018

<https://www.mindat.org/loc-233190.html>. (s.d.). Obtido em 09 de junho de 2018

Jialin, x., Xuan, D., & Changchun, H. (2014). Innovative backfilling longwall panel layout for better subsidence control effect—separating adjacent subcritical panels with pillars. 1(10.1007/s40789-014-0018-1).

Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M. C., & Zêzere, J. L. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Kratzsch, H. (1983). *Mining Subsidence Engineering*. New York: Springer. Verlag.

Leandro, G. (19 de agosto de 1957). Informação sobre o Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos.

Lee, F. T., & J. F. Abel, J. (1983). *Subsidence from Underground Mining: Environmental Analysis and Planning Considerations*. Alexandria: Geological Survey circular ; 876.

Maior, C. M. (2011). Revisão do Plano Diretor Municipal . *Estudos de Caracterização /Diagnóstico: Matriz Territorial de Referência(Relatório do sistema biofísico e ambiental)*. Rio Maior.

Malinowska, A. (2013). Analysis of Methods Used for Assessing Damage Risk of Buildings Under the Influence of Underground Exploitation in the Light of World's Experience – Part 1. 58(3).

Mena, L. f. (1959). *Plano de Lavra do Couto Mineiro do Espadanal*. Rio Maior: Empresa Industrial Carbonífera e Eletrotécnica,S.A.R.L.

O *Globo*. (23 de 10 de 2014). Obtido em 26 de 01 de 2019, de <https://oglobo.globo.com/>: <https://oglobo.globo.com/economia/cidade-sueca-sera-transferida-para-nao-ser-tragada-pela-maior-mina-do-mundo-14332734>

- Ohio Department of Natural Resources. (2010). Mine Subsidence. (12).
- Orem, W., Feder, G., & Finkelman, R. (1999). A possible link between Balkan endemic nephropathy and the leaching of toxic organic compounds from Pliocene lignite by groundwater: preliminary investigation. *Int. J. Coal Geol.*, 40, 237-252.
- Orem, W., Tatu, C., Pavlovic, N., Bunnell, J., Lerch, H., Paunescu, V., . . . Corum, M. & (2007). Health Effects of Toxic Organic Substances from Coal: Toward “Panendemic” Nephropathy. *Ambio, Stockholm*, 36, 1, 98-102.
- Paul B. DuMontelle, S. C. (1981). *Mine subsidence in Illinois: facts for the homeowner considering insurance*. Illinois: Illinois State Geological Survey.
- Peng, S. (1992). Surface subsidence engineering. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton*.
- Pennsylvania - Department of environmental protection*. (s.d.). (PA COMMONWEALTH of PENNSYLVANIA) Obtido em 13 de maio de 2018, de MINE SUBSIDENCE, LOSS & COVERAGE: <http://www.dep.pa.gov/Citizens/MSI/Pages/Mine-Subsidence-Loss-and-Coverage.aspx>
- Pereira, A., Figueiredo, F., Saraiva, A., & Dias, J. (2001). Subsidiência de Terrenos Associada a Antigas Explorações Mineiras: O Caso das Argilas de Molelinhos (Tondela). *II Seminário - Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*.
- Pereira, J. S. (2015). *O Legado Mineiro Sustentável*. Lisboa: Ordem dos Engenheiros.
- Prokopovich, A. (1978). *Evaluation and prediction of subsidence*. New York: ASCE.
- Prokopovich, N. (1978). *Classification of Land Subsidence By Origin*. Sacramento, California.
- Reuters. (21 de agosto de 2016). (Diário de Notícias) Obtido em 11 de maio de 2018, de DN Mundo: <https://www.dn.pt/mundo/interior/as-minas-fecham-e-as-cidades-afundam-se-5348545.html>
- Rio Maior.blogspot*. (05 de 03 de 2019). Obtido de Rio Maior.blogspot: <http://rio-maior.blogspot.com/2013/07/?m=0>

- Rocha, I. V. (1998). *A Industria Portuense em perspectiva histórica : actas do colóquio*, Lisboa. Porto: CLC-Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Rocha, I. V. (1998). *O Carvão na Industrialização Portuguesa*. Lisboa: CLF-FLUP.
- Rocha, N. A. (2010). *Couto Mineiro do Espadanal (Rio Maior). História, Património, Identidade. Dissertação de Mestrado*. Lisboa: Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa.
- Rodrigues, J. D. (1986). Em *Estudos geotécnicos e hidrogeológicos na bacia de lignitos de Rio Maior*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Roque, D. (2016). *Determinação de deslocamentos com Geodesia INSAR para o controlo de segurança de estruturas*. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Silva, P., & Chaminé, H. (1993). A Subsidência na Mina de Carvão de Germunde. Contribuição da Geologia de Superfície. Em P. Silva, & H. Chaminé. Corunha: Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe.
- Sousa, M. &. (2010). Carvões portugueses: A revalorização moderna possível de um recurso geológico. O caso-de-estudo da Bacia Carbonífera do Douro. Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História.
- Super Interessante*. (24 de 05 de 2016). (Grupo Abril) Obtido em 26 de 01 de 2019, de <https://super.abril.com.br>: <https://super.abril.com.br/ideias/suecia-esta-trocando-uma-cidade-inteira-de-lugar-para-evitar-que-ela-afunde/>
- Types of Mine Subsidence*. (s.d.). (IMSIF - Illinois Mine Subsidence Insurance Fund) Obtido em 12 de maio de 2018, de Illinois Mine Subsidence Insurance Fund: <http://www.imsif.com/about-mine-subsidence/types-of-mine-subsidence>
- Yu, Y., Chen, S.-E., Deng, K.-Z., Wang, P., & Fan, H.-D. (2018). Subsidence Mechanism and Stability Assessment - Methods for Partial Extraction Mines for Sustainable - Development of Mining Cities—A Review. *Sustainability*.
- ZAP.aeiou*. (04 de 12 de 2018). Obtido em 26 de 01 de 2019, de <https://zap.aeiou.pt>: <https://zap.aeiou.pt/cidade-sueca-engolida-mina-solucao-mover-casas-229373>

Zbyszewski, G., & Almeida, F. M. (1960). Notícia explicativa da Folha 26-D Caldas da Rainha. Em *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Zbyszewski, G., & Moitinho de Almeida, F. (1960). Carta Geológica de Portugal. *Notícia explicativa da folha 26-D, Caldas da Rainha*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

ANEXOS

Anexo 1

**RECLAMAÇÃO DE SUBSIDENCIA VERIFICADA EM TERRENO NO
COUTO MINEIRO DO ESPADANAL**



INFORMAÇÃO N.º 77 / SMI / 97

PÁG: 2

Na sequência de telefonemas do Sr. José Mota Vargas alertando sobre “ crateras “ que apareceram em terrenos seus na zona do antigo Couto Mineiro do Espadanal - C 17 em Rio Maior, foi feita uma deslocação ao local para constatação do acontecido.

A visita ao local foi efectuada em 20 de Março último, tendo sido acompanhado pelo proprietário dos terrenos, Sr. José Mota Vargas, residente na Rua Padre João Rodrigues Ribeiro nº 3 - 1º Dtº em Santarém.

De facto verifiquei que houve abatimentos em dois locais, originando buracos de grandes dimensões, fotos em anexo, com 3 a 4 metros de diâmetro e bastantes profundos, pelos quais se podem ainda ver a configuração dos antigos trabalhos subterrâneos. Em face do verificado constata-se que os trabalhos subterrâneos aproximaram-se muito da superfície e o maciço de protecção não é suficiente.

Assim, não existem garantias de que não voltarão a ocorrer situações semelhantes pelo que se torna perigosa a circulação naqueles terrenos de máquinas agrícolas ou outras e poderá mesmo representar perigo para pessoas ou animais.

Quanto à situação jurídica, o Couto Mineiro do Espadanal foi desmembrado em 16-07-88, por Portaria publicada no DR nº 163 III Série, e as concessões mineiras que o compunham foram declaras abandonadas por despacho ministerial de 28 de Setembro de 1988, publicado no DR nº 273 III Série de 25 de Novembro de 1988.

Foi informado o Sr. José Mota Vargas que o último concessionário foi a EDP, EP, e que a DRLVTE não tinha competências em face da situação jurídica actual, pelo que deveria contactar o Instituto Geológico e Mineiro.

Em face do exposto proponho que seja dado conhecimento da situação ao interessado e ao IGM.

À consideração superior

J. Ferreira da Costa

Engº FC / FC

Anexo 2




**FICHA PARA LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO**




LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO	
1 DADOS DO EDIFÍCIO	
<p>1.1 LOCALIZAÇÃO:</p> <p>1.2 PROPRIETÁRIO:</p> <p>1.3 DATA DE CONSTRUÇÃO:</p> <p>1.4 TIPO DE EDIFÍCIO:</p> <p>Unifamiliar <input type="checkbox"/> Multifamiliar <input type="checkbox"/></p> <p>Isolado <input type="checkbox"/> Geminado <input type="checkbox"/> Banda <input type="checkbox"/></p> <p>1.5 TIPO DE CONSTRUÇÃO:</p> <p>Pórtico / parede em betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>Viga / pilar em betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>Viga / pilar em perfil metálico <input type="checkbox"/></p> <p>Mista (betão / metálica) <input type="checkbox"/></p> <p>Mista (betão / alvenaria) <input type="checkbox"/></p> <p>1.6 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA:</p> <p>Inclinada <input type="checkbox"/></p> <p>Plana <input type="checkbox"/></p> <p>Mista <input type="checkbox"/></p> <p>1.7 CARACTERIZAÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES:</p> <p>Alvenaria simples <input type="checkbox"/></p> <p>Alvenaria dupla c/ caixa-de-ar <input type="checkbox"/></p> <p>Blocos de betão <input type="checkbox"/></p> <p>Betão armado <input type="checkbox"/></p> <p>1.8 Outras observações relevantes:</p>	<div data-bbox="909 517 1337 763" style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div> <div data-bbox="909 790 1337 1037" style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div> <div data-bbox="909 1064 1337 1310" style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div> <div data-bbox="909 1359 1337 1606" style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<hr/> <hr/> <hr/>	

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIO	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
2 REGISTO DAS PATOLOGIAS VERIFICADAS:	
<p>2.1 PAREDES <input type="checkbox"/></p> <p>2.1.1 Fendilhação longitudinal ou transversal de desenvolvimento significativo <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição: _____ _____ _____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>2.1.2 Descolamento ou fendilhação de Revestimento <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição: _____ _____ _____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>2.1.3 Danos em elementos estruturais <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição: _____ _____ _____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>2.1.4 Danos em Pavimento <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição: _____ _____ _____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>Pág.2</p> <p>2.1.5 Danos na cobertura <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição: _____ _____ _____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>

Anexo 3

**FICHA PARA LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM TERRENOS**

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM TERRENO	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO TERRENO	
1 DADOS DO PRÉDIO	
1.1 LOCALIZAÇÃO: 1.2 PROPRIETÁRIO: 1.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO: _____ _____ _____	 <p>Fotografia</p>
1.4 TIPO DE PRÉDIO: Rústico <input type="checkbox"/> Urbano <input type="checkbox"/> 1.4 TIPO DE EXPLORAÇÃO OU OCUPAÇÃO: _____ _____ _____	 <p>Fotografia</p>
1.5 CONFRONTAÇÕES: Norte _____ Sul _____ Oeste _____ Este _____	 <p>Fotografia</p>

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM TERRENO	FICHA N.º
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
2 REGISTO DAS PATOLOGIAS VERIFICADAS:	
1.6 TIPO DE SUBSIDÊNCIA:	
Cova <input type="checkbox"/> Coordenadas _____ / _____ Diâmetro _____ Profundidade _____ Cota da superfície _____ Cota do ponto mais profundo _____	 <p>Fotografia</p>
Vale <input type="checkbox"/> Coordenadas _____ / _____ Diâmetro ou extensão _____ Profundidade _____ Cota da superfície _____ Cota do ponto mais profundo _____	 <p>Fotografia</p>
1.7 DANOS:	
Solo <input type="checkbox"/> Cobertura vegetal <input type="checkbox"/> Árvores <input type="checkbox"/> Construções <input type="checkbox"/> : Tipo _____ Outros <input type="checkbox"/> : _____	 <p>Fotografia</p>
OUTRAS OBSERVAÇÕES RELEVANTES:	

Anexo 4

**FICHA PARA LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM INFRAESTRUTURAS**

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM INFRAESTRUTURAS	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INFRAESTRUTURA	
1 DADOS DA INFRAESTRUTURA	
1.1 LOCALIZAÇÃO:	
1.2 PROPRIETÁRIO:	
1.3 TIPO DE INFRAESTRUTURA:	
Estrada <input type="checkbox"/> Rede Abastecimento de Água <input type="checkbox"/> Rede Coletora de Esgotos Domésticos <input type="checkbox"/> Rede Coletora de Águas Pluviais <input type="checkbox"/> Rede de Telecomunicações <input type="checkbox"/> Rede elétrica <input type="checkbox"/> Rede de Iluminação Pública <input type="checkbox"/> Rede de Gás <input type="checkbox"/> Outra: _____ _____ _____	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>Fotografia</p> </div>
1.3 CARACTERIZAÇÃO INFRAESTRUTURA:	
Estrada <input type="checkbox"/> Coordenadas: Tipo de Pavimento: Largura:	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>Fotografia</p> </div>
Rede Abastecimento de Água <input type="checkbox"/> Coordenadas: Diâmetro: Material:	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>Fotografia</p> </div>

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM INFRAESTRUTURAS	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INFRAESTRUTURA	
1 DADOS DA INFRAESTRUTURA	
1.3 CARACTERIZAÇÃO INFRAESTRUTURA:	
Rede Coletora de Esgotos Domésticos <input type="checkbox"/> Coordenadas: Diâmetro: Material:	Fotografia
Rede Coletora de Águas Pluviais <input type="checkbox"/> Diâmetro: Material:	Fotografia
Rede de Telecomunicações <input type="checkbox"/> Diâmetro: Material:	Fotografia
Rede elétrica <input type="checkbox"/> Diâmetro: Material:	Fotografia
OUTRAS OBSERVAÇÕES RELEVANTES:	

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM INFRAESTRUTURAS	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO: _____ HORA: _____	
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INFRAESTRUTURA	
1 DADOS DA INFRAESTRUTURA	
<p>1.3 CARACTERIZAÇÃO INFRAESTRUTURA:</p>	
<p>Rede de Iluminação Pública <input type="checkbox"/></p> <p>Coordenadas:</p> <p>Diâmetro:</p> <p>Material:</p>	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; text-align: center; vertical-align: middle;"> Fotografia </div>
<p>Rede Coletora de Gás <input type="checkbox"/></p> <p>Diâmetro:</p> <p>Material:</p>	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; text-align: center; vertical-align: middle;"> Fotografia </div>
<p>Outra: _____ <input type="checkbox"/></p> <p>Diâmetro:</p> <p>Material:</p>	<div style="border: 1px solid green; width: 100%; height: 100%; text-align: center; vertical-align: middle;"> Fotografia </div>
<p>OUTRAS OBSERVAÇÕES RELEVANTES:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	
<p>Pág.3</p>	

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM INFRAESTRUTURAS	FICHA Nº
DATA DA INSPEÇÃO:	HORA:
IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA INFRAESTRUTURA	
2 PATOLOGIAS DA INFRAESTRUTURA	
<p>1.4 Tipo de danos:</p>	
<p>1.4.1 Fendilhação <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição e dimensão: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>1.4.2 Colapso parcial <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição e dimensão: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>1.4.3 Colapso Total <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição e dimensão: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>1.4.3 Outra: _____ <input type="checkbox"/></p> <p>Descrição e dimensão: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<div style="border: 1px solid green; padding: 10px; text-align: center;">Fotografia</div>
<p>OUTRAS OBSERVAÇÕES RELEVANTES:</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	