

# UTILIZAÇÃO DO GEORADAR NA PISCINA DO RESORT DE VALE DE LOBO

## USE OF GEORADAR IN THE VALE DO LOBO RESORT POOL

Pereira, Marília; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal,*  
*marilia@lnec.pt*

Coelho, Maria João; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal,*  
*marjoao@lnec.pt*

### RESUMO

O GEORADAR é um equipamento que permite a inspeção de terrenos e estruturas, cuja técnica de aplicação se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas em meios contínuos, apresentando a capacidade de detetar interfaces entre materiais com diferentes propriedades dielétricas. É uma técnica de prospeção que tem a vantagem de ser indireta e não destrutiva, sendo muitas vezes utilizada na deteção de vazios. Nesta comunicação apresenta-se os resultados obtidos em ensaios com GEORADAR, com o objetivo de deteção de eventuais vazios subjacentes à estrutura da piscina de Vale de Lobo, que foram realizados para a elaboração de um parecer técnico sobre as condições de estabilidade da piscina e da falésia adjacente na praia.

### ABSTRACT

The GEORADAR is a tool that allows the inspection of terrains and structures based on the propagation of electromagnetic waves in continuous media. It is able to detect interfaces between materials with different dielectric properties. It is an indirect and non-destructive technique that is often used to detect voids. This communication presents the results obtained from GEORADAR tests, whose aim was the eventual detection of voids underlying the structure of the Vale de Lobo pool. These tests were carried out as a contribution to a technical opinion on the stability conditions of the pool and the adjacent cliff on the beach.

### 1. INTRODUÇÃO

A piscina da praça central do Resort Turístico Vale do Lobo, no Algarve, foi construída no início da década de 70, sobre a arriba costeira, a uma distância significativa daquela (Figura 1). Desde essa data até ao presente, a ação da erosão provocada por ação marinha, eólica e pluvial, causou um considerável recuo da falésia, que se encontrava aquando da execução dos ensaios por GEORADAR, de uma distância mínima da piscina, que se estimou em cerca de 7 m, Carreto (2015).

A preocupação com a significativa erosão da arriba costeira (Figura 2) e um historial antigo de indícios de perdas de água através da piscina conduziram a que os responsáveis pela manutenção do empreendimento solicitassem uma avaliação das condições de segurança da piscina e a avaliação da estabilidade da falésia em que aquela piscina se encontra fundada.

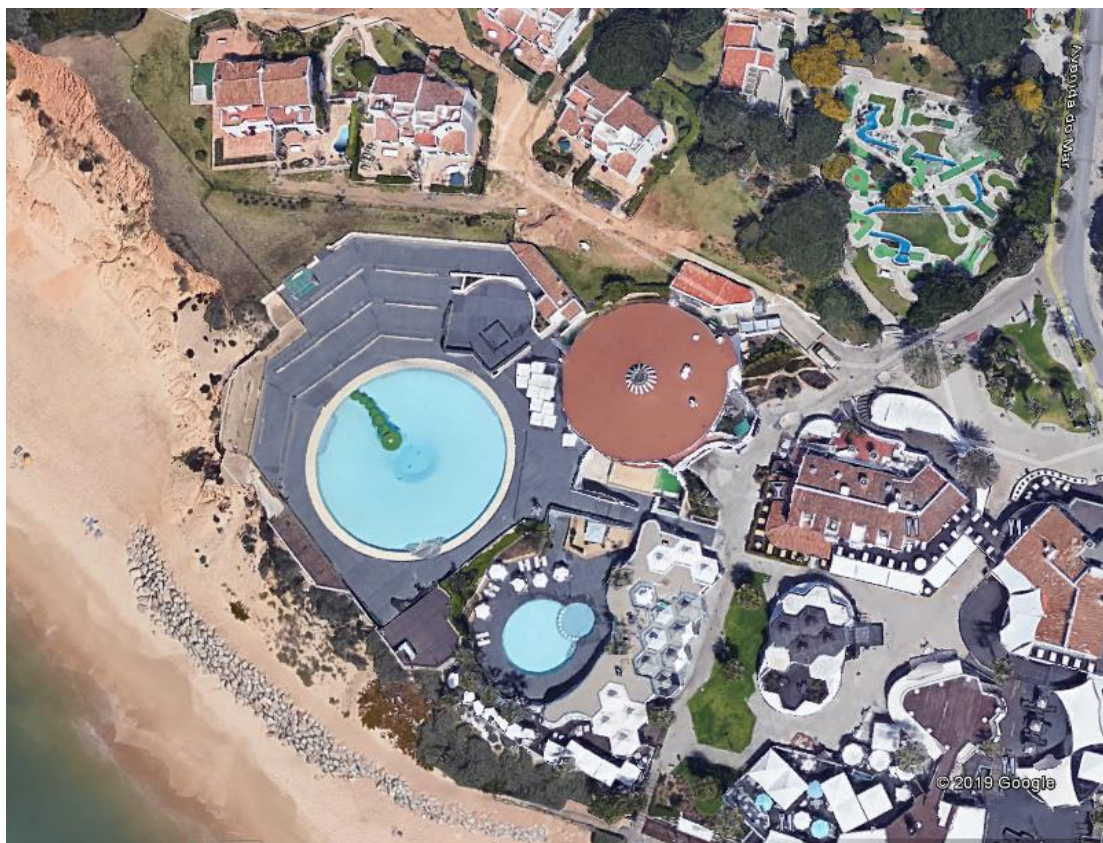


Figura 1 – Vista aérea da piscina em janeiro de 2020



Figura 2 – Vista sobre a piscina e a falésia adjacente em abril de 2015

No âmbito destes estudos foram efetuadas várias inspeções ao local e foi recomendada a execução de ensaios por GEORADAR para deteção da eventual presença de cavidades sob a piscina. Com este propósito foram efetuados vinte e três perfis contínuos, após o esvaziamento da piscina (Pereira e Coelho, 2015). Trata-se de uma técnica de prospeção geofísica que se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas em meios contínuos, sendo de carácter não destrutivo e de rápida execução.

A piscina é uma estrutura construída em betão armado, de geometria circular, com 30 m de diâmetro e um fosso central com um diâmetro no topo de 6,5 m, e de 4 m na base (figura 3). A profundidade da piscina aumenta do exterior para o centro, variando entre 1 m e 1,7 m. No fosso central há um aumento abrupto da profundidade que atinge, neste local os 2,5 m.



Figura 3 – Vista geral sobre a piscina

A laje de fundo da piscina, em betão armado, tem 10 cm de espessura e foi construída sobre um massame de regularização com 5 cm de espessura que, por sua vez, foi espalhado sobre uma camada de brita de 10 cm de espessura. Entre o massame e a laje de soleira interpõe-se uma tela impermeabilizante. As paredes laterais, também em betão armado, têm seção variável. A plataforma circundante é também de betão armado e integra uma viga de bordadura que se apoia sobre a parede da piscina, Carreto (2015). A piscina foi construída sobre a arriba costeira, numa zona onde a sua altura não ultrapassa os 6 a 8 m. No local ocorrem arenitos e siltitos mal consolidados. Na fronteira com a praia, a sul, a falésia foi protegida da ação erosiva do mar e dos agentes atmosféricos por um aterro, nas cotas superiores, e por um prisma de enrocamento, na sua base.

## 2. FUNDAMENTOS DA PROSPEÇÃO COM GEORADAR

O GEORADAR, também designado por radar de prospeção ou de penetração (do inglês, GPR – *Ground Penetrating Radar*), quando utilizado na modalidade de perfil de reflexão, é uma técnica de prospeção geofísica que utiliza ondas eletromagnéticas de radiofrequência e cujos princípios são similares aos do método da reflexão sísmica e aos da técnica do sonar. Quando existe contraste das propriedades eletromagnéticas entre dois meios (ou estruturas) subsuperficiais, as ondas eletromagnéticas transmitidas pelo emissor do GEORADAR são refletidas na interface entre os dois materiais seguindo as leis da ótica geométrica. Estas ondas refletidas são detetadas pelo recetor, que regista o seu tempo de percurso e a sua amplitude. Através do deslocamento da antena do equipamento (contendo um emissor e um recetor) ao longo de um perfil à superfície, obtém-se o registo contínuo dos sinais recebidos, também designado por radargrama, correspondente à secção vertical que inclui o perfil (Davis e Annan, 1989; Rodrigues et al., 1991; Oliveira et al., 1994). De um modo geral, estes registos de GEORADAR podem ser posteriormente processados, especialmente através da manipulação do nível da amplitude dos sinais e da utilização de filtros digitais.

A identificação e interpretação de reflexões nos registos podem fornecer informação e/ou delimitar e localizar interfaces e estruturas subsuperficiais ao longo do alinhamento do perfil. Este método geofísico constitui assim uma técnica de prospeção indireta, cujo objetivo é detetar e localizar estruturas subsuperficiais, quer naturais, quer artificiais.

Nos materiais geológicos, por serem meios condutores da energia eletromagnética, a propagação das ondas eletromagnéticas depende essencialmente de dois parâmetros determinantes: a permissividade elétrica relativa e a condutividade elétrica dos materiais. Na prática todos os meios naturais conhecidos são mais ou menos condutores e, por isso, mais ou menos absorventes de energia eletromagnética, podendo apenas o vácuo ser considerado como um meio transparente, no qual a amplitude da onda é constante ao longo da direção de propagação (Davis e Annan, 1989; Rodrigues et al., 1991, Pereira e Coelho, 2018). No entanto, certos meios de baixa condutividade elétrica são, na prática, considerados como meios transparentes comparativamente a outros de elevada condutividade, como é o caso do ar, no qual a atenuação é praticamente nula em relação aos materiais geológicos. Por outro lado, os metais e os minerais metálicos, os quais apresentam elevados valores de condutividade elétrica, apresentam-se como sendo praticamente opacos à energia eletromagnética. Estes tipos de materiais, apesar de apresentarem uma elevada atenuação de energia são extremamente refletores. Este facto é importante na deteção de corpos metálicos existentes no interior de outros meios, podendo ser identificáveis através das fortes reflexões geradas na interface do corpo metálico com o meio envolvente. Exemplos típicos desta situação é a localização de armaduras no interior de betão, a deteção de cabos ou de tubos, ou outros objetos metálicos enterrados (Pereira e Coelho, 2018). Na aplicação do GEORADAR aos meios geológicos, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas num meio,  $V$ , pode ser aproximada pela seguinte expressão, sendo a constante  $c$  a velocidade da luz no vácuo, a qual corresponde a  $3 \times 10^8$  m/s, e  $K$  a constante dielétrica ou permissividade relativa desse meio:

$$V \approx \frac{c}{\sqrt{K}} \quad [1]$$

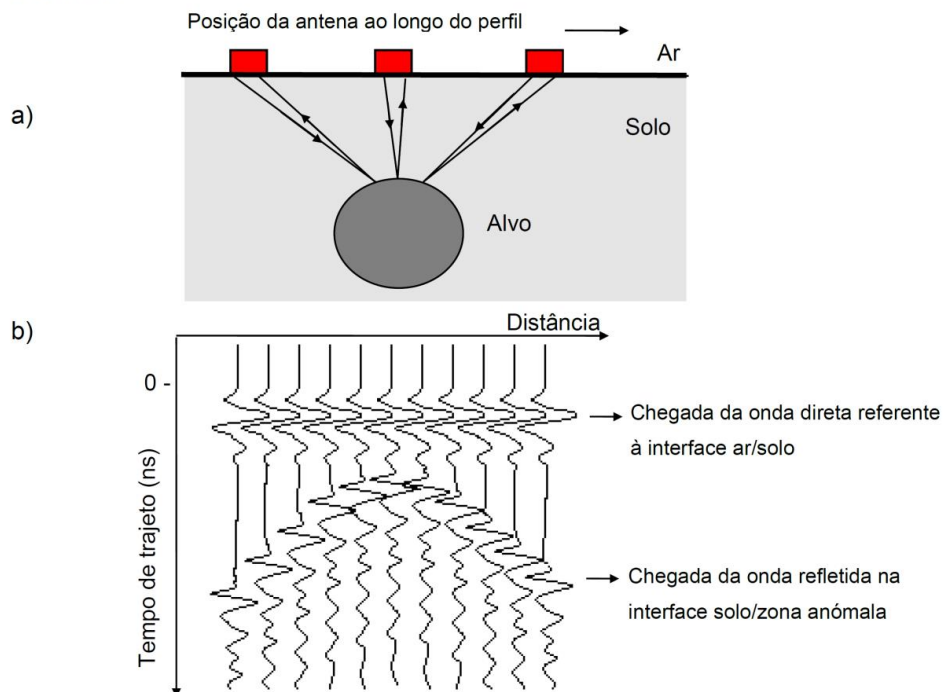
Os impulsos de energia eletromagnética emitidos pela antena emissora de um radar, ao encontrarem uma descontinuidade nas propriedades elétricas do meio, ficam naturalmente sujeitos aos fenómenos de refração e reflexão, aos quais se podem aplicar os princípios da ótica geométrica. Em termos de reflexões registadas em sucessivos sinais e considerando o caso de um modelo de uma camada, a distância  $s$ , entre o ponto de emissão dos impulsos e a interface para a qual se registaram as reflexões, pode ser calculada através da expressão:

$$s = \frac{V t}{2} \quad [2]$$

Na expressão anterior,  $V$  é a velocidade de propagação da energia eletromagnética no meio atravessado, e  $t$  o tempo de percurso registado. O produto ( $V t$ ) deverá ser dividido por dois, devido ao facto de, em termos de reflexão de energia, e para as situações de emissão-receção de energia no mesmo plano geométrico, o tempo de percurso registado corresponder a um tempo de propagação de dupla trajetória, ou seja, desde o ponto de emissão até ao ponto de reflexão e novamente em direção ao ponto de receção.

Na Figura 4 apresenta-se esquematicamente, o princípio de funcionamento do GEORADAR na execução de um perfil para dois tipos de modelos (Pereira e Coelho, 2018).

### CASO A



### CASO B

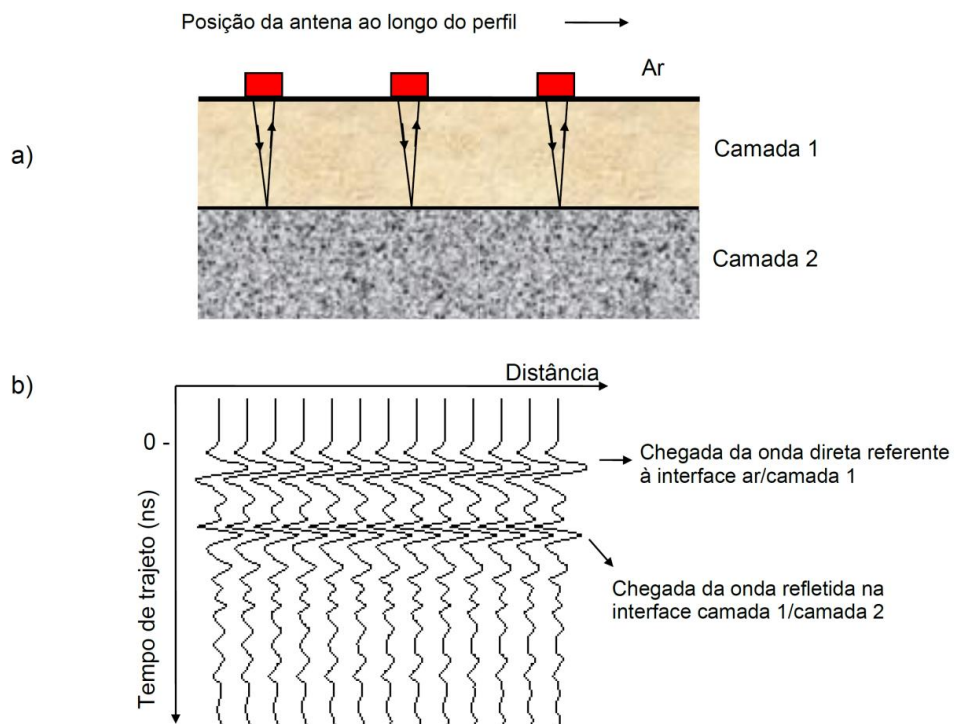


Figura 4 – Ilustração de um perfil de GEORADAR para dois tipos de modelos

O caso A refere-se à situação da passagem da antena sobre uma zona anómala confinada, no qual se mostra uma pequena secção de sinais resultantes. No caso B mostra-se uma pequena secção de sinais para um modelo com uma interface horizontal entre dois tipos de camadas de diferentes materiais. De um modo simples, no primeiro caso procura-se exemplificar a situação da deteção de um vazio ou de um tubo, e o segundo caso aplica-se às situações de deteção de determinadas interfaces entre diferentes materiais. Na Figura 4 e para os dois casos, a antena ao ser movimentada ao longo do perfil, emite energia eletromagnética, cuja propagação e reflexão na superfície da zona anómala (caso A) ou na interface entre as duas camadas (caso B), são indicadas pelos raios esquematizados para várias posições da antena e representados em a). Em b), as secções mostram os sinais recebidos em função da posição da antena ao longo do perfil (eixo horizontal) e do tempo referente ao trajeto da energia (eixo vertical). Em cada secção de sinais encontram-se destacadas as principais reflexões, claramente visíveis pela variação de amplitude dos sinais. Para o caso A, a reflexão referente à zona anómala apresenta uma forma hiperbólica no perfil, ao passo que a reflexão correspondente ao caso B mostra um andamento linear ao longo do perfil.

Na Figura 5 mostra-se esquematicamente o modo de conversão de uma secção contínua de sinais numa imagem contínua colorida. Cada sinal é transformado numa linha colorida, através da conversão dos vários níveis de amplitude desse sinal, pela aplicação de uma escala de cores atribuída. Deste modo, a secção de sinais pode ser apresentada como imagem contínua e colorida, cujas cores ou variações de diferentes tons de uma cor, representam diferentes níveis de amplitude ao longo dos sinais que constituem uma secção.

A interpretação de uma secção consiste na discriminação de possíveis refletos face a um conjunto de outros “eventos” (difrações, ruído de fundo, reflexões múltiplas, etc.). Num sinal, uma reflexão distingue-se, em geral, por uma significativa variação de amplitude no sinal, apresentando uma forma de onda destacável relativamente à parte restante. Num registo, a identificação visual e direta de refletos está em geral associada à marcação de alinhamentos ou de outras formas que mais se destaquem face ao conjunto da imagem. Para tal tem-se em consideração determinadas características típicas, tais como a coerência na forma de onda, e uma certa continuidade ao longo da secção do perfil (Pereira e Coelho, 2015; Pereira e Coelho, 2018).

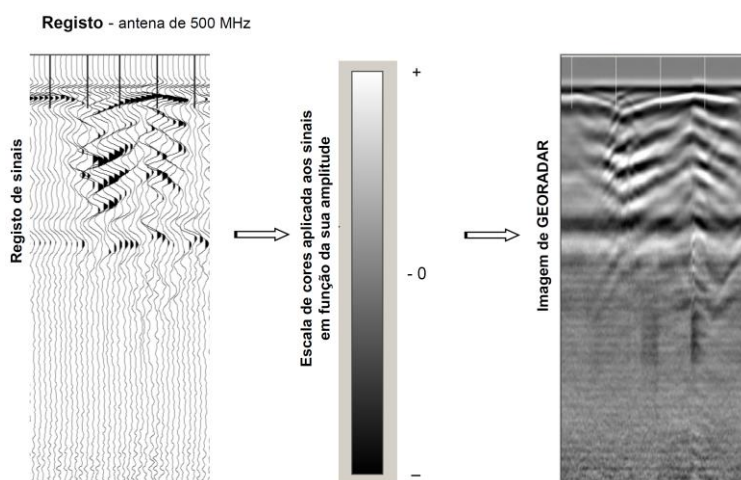


Figura 5 – Escala de tons de cinzentos aplicados aos registos

### 3. EQUIPAMENTO, TRABALHOS REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

O equipamento utilizado nos trabalhos foi um sistema designado por SIR-10H, da marca "Geophysical Survey Systems, Inc." (GSSI). O sistema é basicamente constituído pelos seguintes elementos: a) unidade central de controlo de transmissão, receção e registo de sinais; b) unidade de visualização dos registos; c) cabos de ligação; d) antena para emissão e receção de energia eletromagnética, para a frequência central de emissão de 500 MHz; e) roda para controlo de distâncias percorridas, que é acoplada à antena utilizada. O aparelho de aquisição foi instalado no local e a antena de emissão-receção da energia eletromagnética foi puxada manualmente ao longo dos perfis, tal como se ilustra na fotografia da Figura 6.



Figura 6 – Equipamento usado para execução dos perfis

No trabalho efetuado, os registos de GEORADAR foram obtidos com uma amostragem espacial elevada, de 106 sinais por metro (scans/m), dando a possibilidade de inserção de marcas nos radargramas, por cada metro de distância percorrida. Cada sinal recebido foi registado e amostrado com 512 pontos. A escala de cores escolhida, em tons de cinzentos, foi aplicada como uma função de distribuição linear a todos os registos de GEORADAR, e encontra-se ilustrada na Figura 5. A cor branca é aplicada à amplitude positiva máxima e a cor negra à amplitude negativa mínima de sinal. Os registos foram gravados com uma janela de tempo de receção de 80 ns (nanosegundos), permitindo abranger a capacidade de penetração da antena utilizada no trabalho. Para a conversão da escala de tempos de trajeto numa escala de profundidades estimadas, admitiu-se uma constante dielétrica (K) de 10, isto é, correspondente a uma velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no meio, abaixo do pavimento da piscina, de cerca de 0,95 m/ns. Este valor admitido teve em conta a possibilidade dos materiais existentes se encontrarem parcialmente saturados.

Na base da piscina, foi executada uma rede quadrangular de perfis longitudinais e transversais, orientados a norte-sul e a este-oeste, com espaçamento entre perfis de 2,5 m. Vinte e dois perfis foram posicionados dentro do perímetro da piscina (P1 a P22), e um de forma circular, localizado em torno da piscina no seu bordo exterior (P23), tal como se mostra na Figura 7.

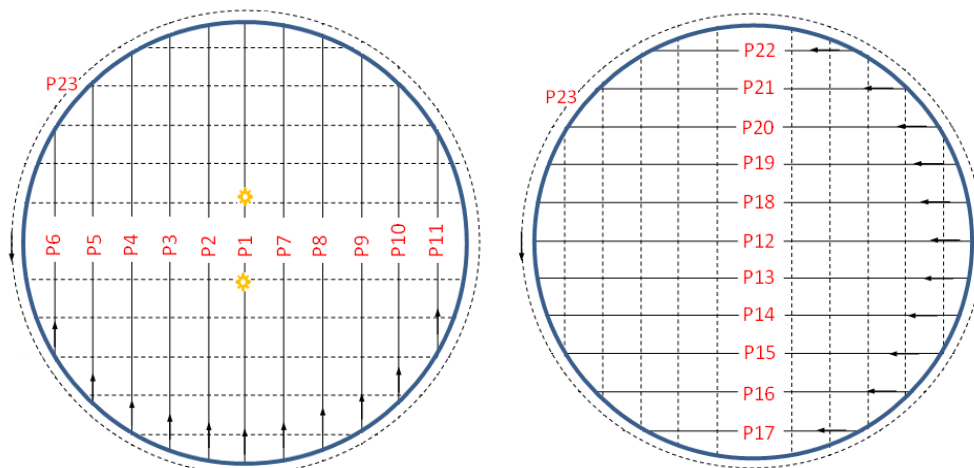


Figura 7 – Esquema com identificação dos perfis

Perante os objetivos do trabalho, com prioridade para a localização de anomalias que pudessem ser correlacionáveis a eventuais cavidades existentes sob a da estrutura da laje de fundo da piscina, em betão armado, a interpretação das imagens dos registos baseou-se na pesquisa de refletores com formas fortemente hiperbólicas e de amplitude significativa, as quais são normalmente denunciadoras da existência de heterogeneidades ou de outros alvos que possam corresponder a condutas, tubos ou cabos. Assim, para o conjunto de imagens obtidas para os vinte e três perfis realizados, observou-se o seguinte (Pereira e Coelho, 2015):

- Ocorrência de bandas horizontais registadas ao longo de praticamente todas as imagens adquiridas e que correspondem a ruído de fundo. Após filtragem as “falsas” reflexões horizontais foram removidas, restando uma imagem com um fundo regular.
- Ocorrência de reflexões, com elevada amplitude, que incidem sobre as partes dos perfis que atravessaram a parte mais baixa da piscina, na zona do fosso, apresentando reflexões de maior amplitude, precisamente nessa zona. São exemplo, os perfis designados por P1, P2, P7, P12, P13 e P18. Na Figura 8, exemplifica-se com o caso do perfil P2, onde se observa reflexões que se diferenciam relativamente ao conjunto das imagens obtidas. Devido ao facto de serem comuns aos vários perfis que cruzaram a zona do fosso, e de se revelarem de uma forma relativamente idêntica, não foram consideradas como anómalas, tendo-se atribuído o significado da sua ocorrência, quer com as características particulares da laje na zona do fosso, quer à presença de caixas e de tubagens para iluminação e para escoamento da água da piscina.
- Ocorrência de reflexões nos perfis que cruzaram o espaço entre os pilares dum passadiço existente na piscina (Figura 9), como por exemplo os perfis P3, P4, P5, P6 e P18. Não se consideraram como anómalas, as reflexões observadas nestas zonas, devido à forte probabilidade de estarem relacionadas com a inserção da fundação destes pilares.
- Ocorrência singular de reflexões de forma hiperbólica, como as observadas nos perfis P8 e P10. Devido à diminuta extensão lateral e à sua forma geométrica, com geração de várias múltiplas no tempo, corresponderão muito provavelmente à presença de eventuais cabos ou tubos.
- Ocorrência de reflexões no perfil P23, posicionadas nos locais da existência das paredes do tanque de compensação.



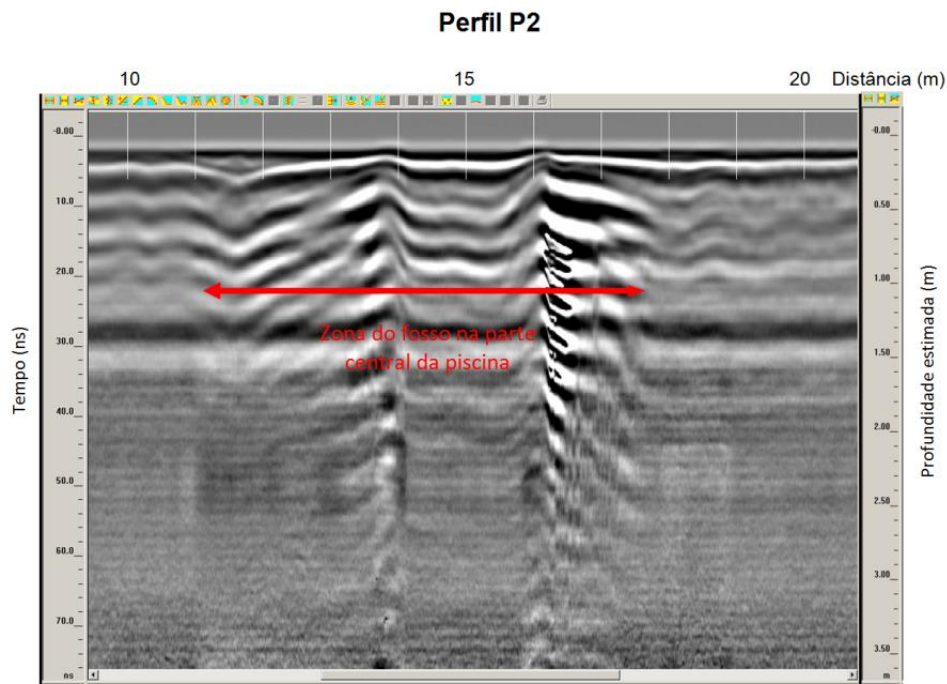


Figura 8 – Parte do registo do perfil P2, na zona de atravessamento do fosso da piscina

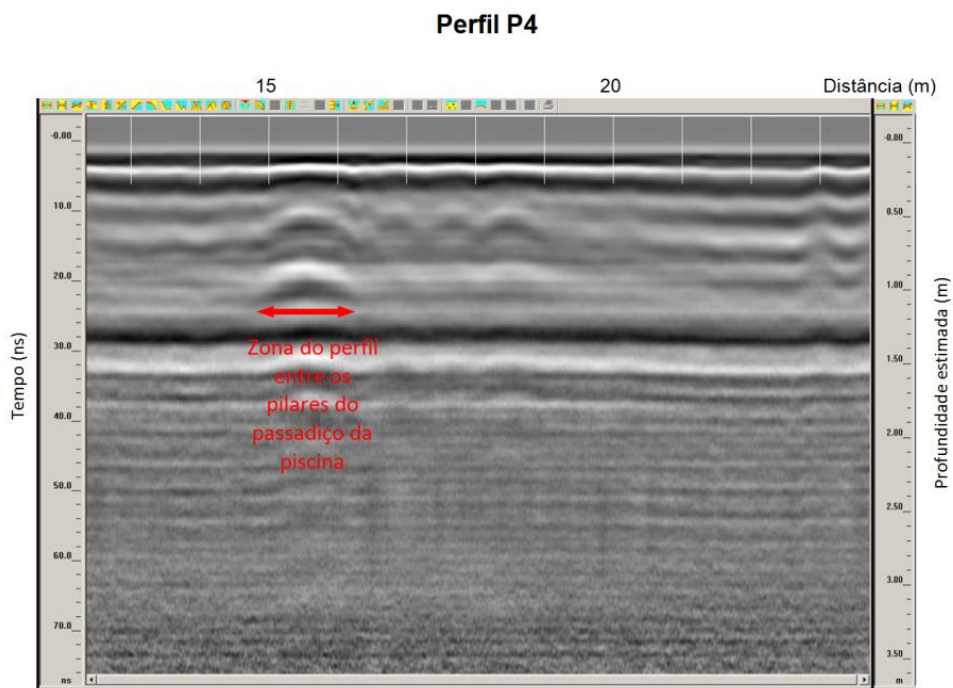


Figura 9 – Reflexões ocorridas no perfil P4 na zona dos pilares do passadiço da piscina

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o historial de perdas de água e à conhecida suscetibilidade à erosão das formações em que a piscina se encontra fundada, colocou-se a hipótese de

eventualmente ocorrerem cavidades sob aquela estrutura, a qual não pode ser eliminada por simples observação visual. Neste contexto foi proposto a execução de ensaios com GEORADAR no interior da piscina de 30 m de diâmetro.

Os trabalhos foram efetuados com uma antena de frequência de 500 MHz e com o equipamento da marca “Geophysical Survey Systems, Inc”. Os perfis dentro da piscina foram dispostos numa quadrícula com espaçamento de 2,5 m, tendo-se realizado onze perfis com orientação sul – norte, e outros onze, com orientação oeste – este. Foi ainda realizado um perfil circular ao longo da plataforma circundante da piscina.

Da análise dos registos dos perfis realizados, observou-se que, as principais ocorrências em termos de reflexões de sinal, com visível amplitude, incidiram nos perfis que cruzavam a zona do fosso, em forma de bacia, e que estarão relacionadas quer com as características da laje nessa zona, quer com a presença de caixas e de tubagens de iluminação e de saída de água da piscina, não se tendo considerado por isso como anómalas. Outras singularidades observadas nos registos relacionam-se ainda com eventuais tubos e com a presença da base dos pilares pertencentes ao passadiço existente na piscina. Deste modo, concluiu-se que, no conjunto dos registos obtidos, não se identificaram reflexões características da existência de cavidades de dimensão relevante (de ordem métrica).

De salientar ainda a importância da execução destes ensaios não destrutivos face à premência na obtenção de resultados rápidos durante os estudos efetuados e face à necessidade da utilização da piscina.

## **AGRADECIMENTOS**

As autoras agradecem a Vale do Lobo – Resort Turístico de Luxo, S.A. a publicação destes resultados.

## **REFERÊNCIAS**

- Carreto, J. (2015). Parecer sobre as condições de estabilidade de uma piscina e da falésia na praia de Vale do Lobo, Algarve. *Relatório LNEC / 2015 – DG/NGUT*, Lisboa.
- Davis, J. L. e Annan, A. P. (1989). Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, pp 531-551.
- Oliveira, M.P. e Rodrigues, L. F. (1994). Application of ground penetrating radar in engineering geology. Detection of cavities. *7<sup>th</sup> International IAEG Congress*, 205-211. Lisboa
- Pereira, M. e Coelho, M. J. (2015). Ensaios com GEORADAR na piscina junto à falésia da praia, no Resort de Vale do Lobo, Algarve. *Relatório LNEC 379/2015 – DG/NGEA*, Lisboa.
- Pereira, M. e Coelho, M. J. (2018). Utilização do GEORADAR na deteção de infraestruturas. *16º Congresso Nacional de Geotecnia*. Ponta Delgada, Açores.
- Rodrigues, L. F.; Oliveira, M. P.; Coelho, M. J. (1991). Radar de penetração. Aplicações em geotecnia. *4º Congresso Nacional de Geotecnia*, Vol. 3, 311-323. Lisboa