



O potencial dos dados LiDAR na delimitação de objectos da Reserva Ecológica Nacional

*Rui PEREIRA REIS¹ e António ALVES DA SILVA¹

¹ Direção Geral do Território, Lisboa

(rui.reis@dgterritorio.pt; aalves@dgterritorio.pt)

Palavras-chave: LiDAR – *Light Detection And Ranging*, planeamento espacial, ordenamento e gestão do território, Reserva Ecológica Nacional, Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo

Resumo:

Neste trabalho pretende-se abordar a optimização de elementos cartográficos usados na delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN) por meio da exploração do potencial da informação obtida através de levantamentos usando a tecnologia LiDAR (“Light Detection And Ranging”).

Entre os principais instrumentos operativos e regulatórios do planeamento e ordenamento do território em Portugal estão os Planos Diretores Municipais (PDM) e a Reserva Ecológica Nacional (REN). A REN integra três tipos de domínios: áreas de protecção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais. Estes instrumentos operativos e regulatórios impõem restrições à ocupação do solo (por exemplo: de loteamento, de urbanização, de construção e ampliação, vias de comunicação, escavações e aterros, entre outras), existindo condicionamentos que, em primeira análise, dependem da cartografia da REN e da informação de base que a determina. A materialização da REN no terreno é efetuada pela delimitação, a nível municipal, das áreas correspondentes aos domínios acima referidos.

A nuvem de pontos obtida por meio de sensores LiDAR, após processos de georreferenciação, é classificada por forma a associar uma classe a cada ponto, aumentando-se e potenciando-se, deste modo, a sua utilidade nos mais diversos campos de aplicação. São especialmente relevantes os produtos derivados Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital do Terreno (MDT), dado que são úteis em diferentes tipos de aplicação. A utilização de dados obtidos por LiDAR permite tirar partido de informação tridimensional muito detalhada e enriquecida com informação que permite modelar em detalhe o relevo (usando, por exemplo, linhas de quebra/*breaklines* na criação do MDT). A informação assim obtida possibilita a caracterização e delimitação de áreas respeitando as características morfológicas do terreno e, em particular, a delimitação mais detalhada e precisa dos objetos cartográficos usados na REN, permitindo, deste modo, análises mais precisas e possibilitando uma melhor aderência dos instrumentos regulatórios usados no Ordenamento do Território às realidades efectivas no terreno. Deste modo, consegue-se uma diminuição substancial das imprecisões nos Instrumentos de Gestão Territorial, que por vezes redundam em situações conflituosas, quando a cartografia oficial é confrontada com determinadas realidades do terreno que são obscurecidas pelo grau de generalização dos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) usados normalmente.

Os testes até agora efectuados permitem-nos concluir que o processamento baseado na exploração de dados LiDAR contribui para uma melhoria substancial da delimitação dos objectos usados na REN, nomeadamente no caso das Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (AEREHS), entre outras. Este tipo de informação permite a utilização de escalas de análise mais detalhadas, uma melhor consistência global da informação derivada e, portanto, contribui para a melhoria da qualidade global dos instrumentos operativos e regulatórios usados no planeamento e ordenamento do território e, em particular, dos objetos cartográficos usados nas delimitações de áreas da REN.

Nota: Os autores escrevem, por opção pessoal, de acordo com a antiga ortografia.



1. Introdução

Com este trabalho pretende-se contribuir para uma melhor compreensão da abrangência e especificidades da cartografia da REN, bem como para a melhoria através da utilização como base de dados detalhados obtidos através de levantamentos efetuados com a tecnologia LiDAR.

Assim, começa-se por descrever o enquadramento legislativo que regula a delimitação dos objectos que constituem a cartografia da REN e procede-se à caracterização desta cartografia em termos dos temas, sub-temas e objectos que a constituem. De seguida descreve-se de forma sucinta a tecnologia LiDAR, suas principais características, parâmetros e exactidão envolvida, terminando com a descrição dos métodos e classes usados na classificação da nuvem de pontos LiDAR, processo que permite explorar e tirar maior partido do potencial deste tipo de dados..

Depois de se descreverem os dados usados neste trabalho e de se caracterizar o tipo de informação que eles põem à disposição dos utilizadores dão-se exemplos das suas vantagens quer em termos da resolução que disponibilizam quer na delimitação de AEREHS, usadas aqui como exemplo de objecto cartográfico da REN cuja delimitação é passível de beneficiar com a utilização de informação obtida por levantamentos usando a tecnologia LiDAR..

Este estudo revelou que a utilização de dados LiDAR na delimitação de objectos da REN, usando como exemplo as AEREHS, tem potencial para permitir uma discriminação mais fina e com maior aderência à realidade destes objectos. Deste modo, contribui-se para um incremento substancial da qualidade e da consistência global dos instrumentos operativos e regulatórios usados no planeamento e ordenamento do território.

2. Cartografia da REN

2.1 Enquadramento Legislativo

A Reserva Ecológica Nacional (REN) foi instituída pelo Decreto-Lei nº321/83, de 5 de Julho, tendo este Decreto-Lei sido revisto e actualizado diversas vezes. O Regime Jurídico (RJ) em vigor foi instituído pelo Decreto-Lei nº166/2008, de 22 de Agosto, tendo sido alterado várias vezes, a última das quais pelo Decreto-Lei nº124/2019, de 28 de Agosto. O Regime Jurídico da REN prevê um nível Estratégico, concretizado através de Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais (OENR), e por um nível Operativo, consistindo na elaboração de cartas de delimitação da REN de âmbito municipal. As OENR especificam as directrizes e critérios para a delimitação das áreas integradas na REN (Portaria nº336/2019, de 26 de Setembro, mas ver também o “Guia metodológico” (CCDR-LVT, 2015)).

2.2 Cartografia da REN

A carta de delimitação da REN representa áreas incluídas e áreas excluídas neste domínio representadas sobre a carta base. Esta carta base da REN é obtida a partir da cartografia de base, oficial ou homologada, por selecção da informação relevante para a elaboração da carta de delimitação. A carta de base é obtida a partir de cartografia topográfica vectorial 1: 10 000 (ou 1:5 000) que deve ter como conteúdo mínimo: Informação oro-hidrográfica tridimensional; Redes rodoviária e ferroviária; Construções e Toponímia (DGT, 2020). Também pode ser utilizada cartografia topográfica de imagem (ortofotocartografia) desde que complementada com informação vectorial e toponímica. A exactidão posicional planimétrica da cartografia de base deve ser melhor ou igual que 5 m e os ortofotomapas devem ter resolução espacial melhor ou igual que 0,5 m. A exactidão temática deve ser melhor ou igual que 95%. O sistema de georreferenciação a usar deve ser o PT-TM06/ETRS89.

A cartografia da REN inclui trinta e seis objectos, agrupados em 3 temas e 19 subtemas, bem como duas áreas de exclusão (Figura 1). Para a delimitação dos (36+2) objectos da REN usa-se quer cartografia de base homologada e actualizada (seja ela constituída por ortofotocartografia, levantamentos aerofotogramétricos ou coberturas aerofotográficas); quer informação fornecida por diferentes entidades com responsabilidades sectoriais (Exemplos: cartografia hidrográfica-IH; Linha de Máxima Preia-mar de Águas Vivas Equinociais e Domínio Público Marítimo-APA, Carta Geológica – LNEG, ...); quer ainda cartografia adquirida propositadamente para a delimitação dos objectos da REN a nível concelhio.

Com a disponibilidade, num futuro próximo, de um levantamento LiDAR de Portugal Continental o enquadramento subjacente à aquisição dos dados cartográficos de base (usados na REN e nos PDM) pode vir a alterar-se de forma significativa sendo previsível virem a estar disponíveis diversos conjuntos de dados geográficos (CDG) derivados de âmbito nacional e de elevada resolução. Ou, pelo menos, este levantamento pode fornecer dados a partir dos quais será possível criar, com relativa facilidade, diversos CDG de elevada resolução.



Tema: Áreas de proteção do litoral		
Subtema	Objeto	
Faixa marítima de proteção costeira	Faixa marítima de proteção costeira	01
Praias	Praias	02
Barreiras detriticas	Restingas	03
	Barreiras soldadas	04
	Ilhas-Barreira	05
	Tômbolos	06
Sapais	Sapais	07
Ilhéus e rochedos emersos no mar	Ilhéus	08
Dunas costeiras e dunas fósseis	Rochedos emersos no mar	09
	Dunas costeiras litorais	10
	Dunas costeiras interiores	11
Dunas fósseis	Dunas fósseis	12
	Arribas	13
	Faixa de proteção de arribas a partir do rebordo superior	14
Faixa de proteção de arribas a partir da base da arriba		15
	Faixa terrestre de proteção costeira	16
Águas de transição e respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Águas do mar – Margem	17
	Águas de transição – Leito	18
	Águas de transição – Margem	19
	Águas de transição – Faixa de proteção	20

Tema: Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre		
Subtema	Objeto	
Cursos de água e respetivos leitos e margens	Cursos de água – Leito	21
	Cursos de água – Leito canalizado	22
	Cursos de água – Margem	23
Lagoas e lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Lagoas e lagos – Leito	24
	Lagoas e lagos – Margem	25
	Lagoas e lagos – Faixa de proteção	26
Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, bem como os respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Albufeiras – Leito	27
	Albufeiras – Margem	28
	Albufeiras – Faixa de proteção	29
Áreas estratégicas de infiltração, proteção e recarga de aquíferos	Áreas estratégicas de infiltração, proteção e recarga de aquíferos	30

Tema: Áreas de prevenção de riscos naturais		
Subtema	Objeto	
Zonas adjacentes	Zonas adjacentes	31
Zonas ameaçadas pelo mar	Zonas ameaçadas pelo mar	32
Zonas ameaçadas pelas cheias	Zonas ameaçadas pelas cheias	33
Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	34
Áreas de instabilidade de vertentes	Áreas de instabilidade de vertentes	35
	Escarpas	36

Tema: Áreas de exclusão		
Subtema	Objeto	
Exclusão por compromisso – C	Exclusão por compromisso – C	37
Exclusão para a satisfação de carências – E	Exclusão para a satisfação de carências – E	38

Figura 1 – Temas, subtemas e objectos da cartografia da Reserva Ecológica Nacional.

3. Tecnologia LiDAR

A tecnologia LiDAR fornece uma nuvem de pontos tridimensionais, classificados, com distribuição não uniforme mas com elevadas densidades médias. Os pontos são coordenados com base no tempo de percurso de pulsos de luz laser entre o emissor e a sua reflexão no terreno ou objectos nele existentes. Os principais tipos de LiDAR podem-se distinguir com base na plataforma em que o sensor, que emite e recebe os pulsos de luz laser, está montado. Assim pode-se distinguir entre LiDAR terrestre e aéreo (avião e/ou veículo aéreo não tripulado). Os sistemas de LiDAR aéreo estão especialmente vocacionados para levantamentos de âmbito regional ou nacional. Um sistema LiDAR emite pulsos laser em determinado comprimento de onda (c.d.o.), a elevada frequência (até 2MHz) e recolhe os retornos/reflexões. As distâncias são determinadas com base no tempo do percurso do pulso de luz laser entre a sua emissão e a recepção. À medida que o avião avança, um espelho (com movimento rotativo/oscilante/padrão Palmer) desvia os pulsos por forma a fazer-se um varrimento lateral e cobrir-se uma faixa de terreno aproximadamente perpendicular à linha de voo. O sensor LiDAR é caracterizado por: 1. Comprimento de onda da luz laser, 2. Frequência de repetição de pulso (FRP), 3. Potência do pulso laser (depende de considerações envolvendo o alcance e a segurança de operação), 4. Campo de visão transversal (FOV) e 5. Frequência de varrimento transversal. Um sistema de aquisição de dados LiDAR integra um sistema inercial (IMU) e um sistema de posicionamento/navegação (GNSS), permitindo a modelação detalhada de: Terreno, Vegetação, Construções, planos de água e, eventualmente, fundos pouco profundos e transparentes (LiDAR batimétrico). No passado conseguiam-se densidades da ordem dos 0,25, 1 ou 2 pontos por metro quadrado (pts/m²), actualmente opera-se frequentemente com densidades da ordem dos 8, 10,16 ou mesmo 40 pts/m², em levantamentos de âmbito nacional ou regional. Os dados de levantamentos LiDAR são caracterizados por terem elevada exactidão: de 5 a 15cm em Z e de 15 a 50cm em XY. Em levantamentos batimétricos com LiDAR usa-se, normalmente, dupla frequência do laser, constituindo uma importante ferramenta para o levantamento da fachada costeira.

Os comprimentos de onda mais utilizados em levantamentos LiDAR são: (a) - 532 nm (verde) - permitindo a modelação de fundos submersos de pouca profundidade e da área de transição terra-mar; (b) 1064 nm (NIR): mais utilizado em topografia aérea pois tem elevada reflectância nos objectos que normalmente se encontram no terreno; (c) 1550 nm (SWIR) - Topografia terrestre: mais seguro, mas com fraca reflectância na vegetação.

A nuvem de pontos resultante de um levantamento LiDAR pode ser caracterizada por: (1) Densidade/espacamento de pontos: depende da frequência de repetição de pulso, da frequência de varrimento transversal, da velocidade do avião e da altura do avião acima do solo; (2) Número de retornos por pulso ou recolha de onda completa; (3) Classificação dos pontos/retornos. As classes habitualmente utilizadas na classificação de pontos LiDAR normalmente incluem, pelo menos, as classes: Solo, Vegetação (alta, média, baixa), Construções e Planos de água.

Heidemann (2018) distingue quatro classes de exactidão vertical para levantamentos LiDAR, dando valores de erro admissível em altimetria bem como a indicação da densidade média e espaçamento médio recomendados dos pontos LiDAR em cada



classe/nível de qualidade (ver Quadro 1). Como se verá o levantamento LiDAR usado neste trabalho é caracterizado por densidades superiores na ordem dos 8 pts/m², pelo que as classes de qualidade indicadas serão a QL0 ou QL1 com erros admissíveis em altimetria entre 5 cm e 10 cm.

Quadro 1 – NVA = Non-vegetated Vertical Accuracy; VVA = Vegetated Vertical Accuracy.

Fonte: Heidemann (2018) LiDAR base specification

Quality Level	RMSEz NVA	NVA 95%	VVA	Espaçamento médio	Densidade média
QL0	5 cm	9,8 cm	15 cm	≤ 35 cm	≥ 8 pts/m ²
QL1	10 cm	19,6 cm	30 cm	≤ 35 cm	≥ 8 pts/m ²
QL2	10 cm	19,6 cm	30 cm	≤ 71 cm	≥ 2 pts/m ²
QL3	20 cm	39,2 cm	60 cm	≤ 141 cm	≥ 0,5 pts/m ²

Em ASPRS (2014) dão-se estimativas para o erro esperado em planimetria em função da altitude de voo, tendo por base as características típicas dos sistemas IMU e GNSS. O Quadro 2 mostra que, mesmo para altitudes de voo da ordem dos 4000m, muito superiores às usualmente praticadas em levantamentos LiDAR, o erro esperado em planimetria é de cerca de 50cm, bem abaixo, portanto, dos limiares de erro admissível em planimetria exigidos aos dados cartográficos de base usados para derivar a cartografia da REN.

Quadro 2 – Erro esperado em planimetria (com base em ASPRS, 2014)

Altitude (AGL)	RMSEr
500 m	13,1 cm
1000 m	17,5 cm
2000 m	29,0 cm
3000 m	41,0 cm
4000 m	54,4 cm
5000 m	67,6 cm

Os produtos derivados de levantamentos LiDAR incluem: (a) MDT; (b) MDS; (c) Rede Irregular de Triângulos - *Triangulated Irregular Network* (TIN); (d) Modelo de intensidades; (e) Ortofotocartografia (com possibilidade de criação de ortofotos verdadeiros através da correcção do desvio planimétrico provocado pela altitude - de construções ou vegetação, por exemplo - por meio da utilização do MDS); (f) Produtos obtidos por classificação da nuvem de pontos tridimensional, como por exemplo: Construções, Vegetação, Solo, Rede Viária; (g) Produtos com aplicação em (ou específicos de) diferentes áreas de aplicação: por exemplo, na área florestal o modelo de alturas das copas.

O processo clássico de classificação começa por distinguir entre pontos que pertencem ou não ao solo através de um processo de filtragem. Posteriormente, os pontos que não pertencem ao solo são classificados com base em parâmetros caracterizadores dos diferentes tipos de objectos. O algoritmo de filtragem usado neste trabalho, para identificar os pontos no solo, foi um algoritmo operando por densificação progressiva de um TIN sendo os pontos classificados como solo, e adicionados ao TIN, se a diferença de altitude relativamente à superfície definida pelo TIN não for superior à determinada por meio de diferentes métodos de interpolação. A classificação usada permite distinguir pontos nas seguintes classes: Não-classificado, Solo, Vegetação (Baixa, Média, Alta), Construções, Ruído baixo, Água, Sobreposição.

4. Levantamento LiDAR do projecto áGIL

A Portaria nº336/2019, que define as directrizes e critérios para a delimitação das áreas da REN, já prevê a utilização de MDT criados a partir do levantamento LiDAR topo-batimétrico da costa efectuada em 2012 da responsabilidade do Instituto Geográfico Português (IGP) e Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

O levantamento LiDAR usado neste trabalho foi criado no âmbito do projecto áGIL do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) (<https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil/>). Neste levantamento procedeu-se à aquisição simultânea de informação posicional e de imagem/espectral (IRG – infravermelho, vermelho e verde). As demais características do levantamento LiDAR utilizado são: Frequência de Repetição de Pulso de 900 khz; Frequência de Varrimento Lateral de 110 Hz; Altitude de voo de 1250 metros; Velocidade média de 160 nós e Campo de visão (dinâmico) (FOV) de 17,5°; Faixa/fiada (nível do solo) de 788 m; Espaçamento entre linhas de voo de 630,6 m. A densidade de pulso de saída nominal foi de 10,02 pts/m² a 13,88 pts/m². Em testes efectuados usando como unidade de trabalho as quadriculas de 500mx500m, em que os dados estão organizados, a densidade mínima efectiva encontrada foi de 7,32 pts/m² e a densidade máxima efectiva foi de 13,15 pts/m².



5. Exemplos de aplicação

5.1 Cartografia versus LiDAR

Na figura 2 visualiza-se (da esquerda para a direita) Informação espectral (IRG) em perspectiva; Classificação da vegetação, solo e construções; Visualização da informação espectral sobre máscara das classificações (útil na verificação da qualidade da classificação); Visualização conjunta das três classes usadas na classificação: vegetação, solo e construções.

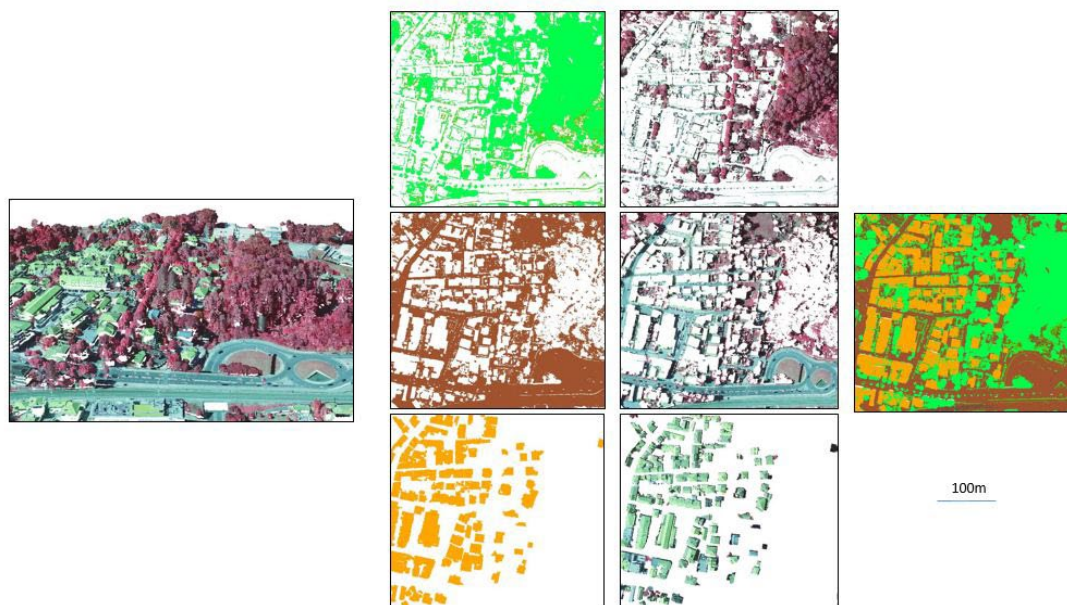


Figura 2 – Visualização de alguns dados disponibilizados ao utilizador, de forma imediata, num levantamento LiDAR: informação espectral e resultados da classificação da nuvem de pontos. (Fonte de dados LiDAR: <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil.html>).

Na figura 3, à esquerda, visualiza-se ortofotocartografia e cartografia 1:10 000 usada no PDM. À direita da figura mostram-se alguns resultados da classificação da nuvem de pontos LiDAR, nomeadamente, a informação espectral, modelo de intensidades, altimetria e resultados da classificação.

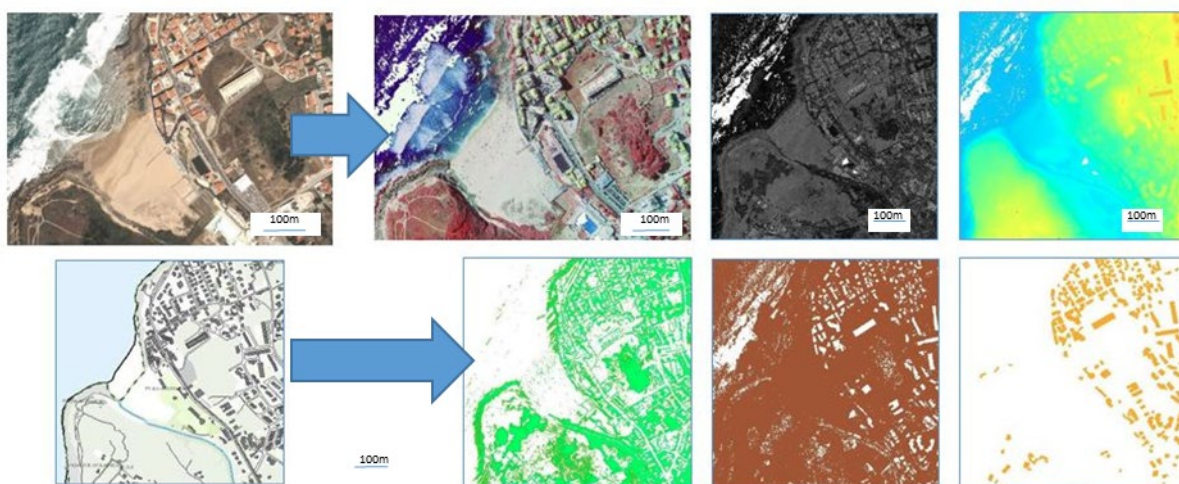


Figura 3 – CDG usados, tradicionalmente, na elaboração de PDM (à esquerda) e informação derivada de um levantamento LiDAR (à direita). (Fontes: Ortofotografia - <https://cartografia.dgterritorio.gov.pt/wms/ortos2018>; Cartografia - <https://cm-sintra.pt/territorial/plano-diretor-municipal/visualizadorsig>; Dados LiDAR - <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil.html>).

A figura 4 ilustra o tipo de dados LiDAR que se obtêm sem processamento e visualizam-se alguns Modelos Digitais do Terreno deles derivados.

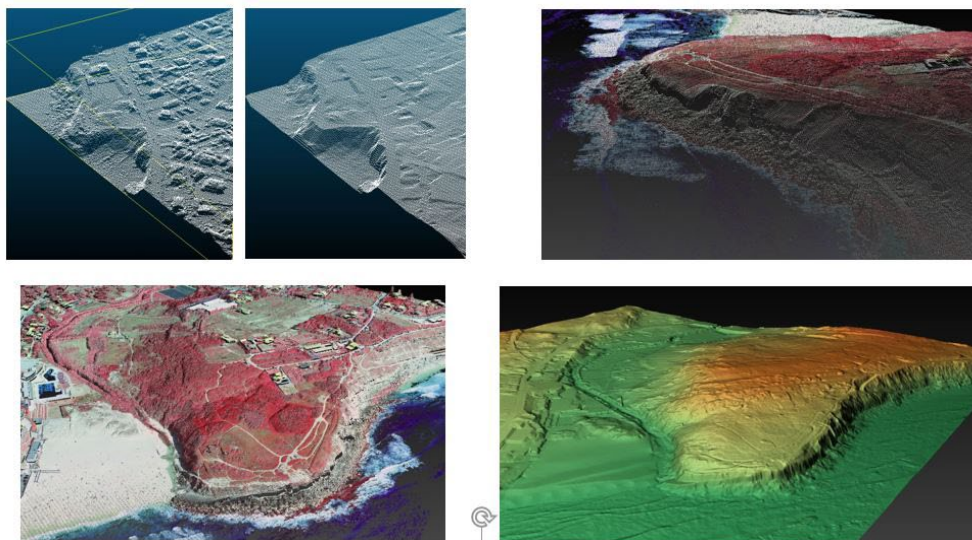


Figura 4 – Visualização de dados LiDAR sem processamento e respectivos Modelos Digitais do Terreno.

(Fonte de dados LiDAR: <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil.html>).

5.2 Declives

A Figura 5 mostra um exemplo de área de socalcos (indicada pela elipse vermelha no ortofotomapa à esquerda) indevidamente identificada como AEREHS, devido à baixa resolução do MDT. A área de socalcos situa-se junto a um perímetro urbano (linha tracejada). O sector à direita deste perímetro está classificado no PDM como Área de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (AEREHS). Ao centro mostram-se as classes de declives na área e, à direita, mostra-se um diagrama (esboço de perfil topográfico) ilustrando a insuficiente resolução do MDT para identificar os socalcos (à direita). O diagrama pretende ilustrar o perfil real do terreno, enquanto a linha vermelha ilustra o perfil topográfico obtido através do MDT utilizado.



Figura 5 – Exemplo de local com socalcos, numa área junto a um perímetro urbano, cuja parte fora desse perímetro foi classificada no PDM como AEREHS devido à baixa resolução do MDT utilizado. (Fonte: <https://sig.cm-fundao.pt/>).

Constata-se que à área de socalcos correspondem classes de declives de 10-15% e até de 15-30%. A razão para a existência destas classes de declives numa área de socalcos deve-se à falta de resolução do MDT que foi usado para o cálculo dos declives. A situação pode ser ilustrada pelo diagrama (à direita) na figura 5. Devido à baixa densidade dos pontos usados para criar o TIN os socalcos não são representados no TIN dando origem a polígonos com declives acentuados. Deste modo, parcelas que não cumpririam as condições para serem classificadas como AEREHS se os dados tivessem resolução suficiente, são incluídas na REN o que tem consequências relevantes em termos do condicionamento do tipo de utilizações possíveis e pode constituir um entrave ao desenvolvimento e rentabilização do património pelos cidadãos.

5.3 Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (Sintra)

As AEREHS são determinadas com base na Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) cuja expressão é: $A = R * K * LS * C * P$, onde A - Estimativa da erosão específica de solo; R - Factor de erosividade da precipitação; K - Factor relativo à erodibilidade do solo; LS - Factor Topográfico: exprime a importância relativa do atrito de uma superfície através da relação entre o comprimento do escoamento desorganizado numa vertente (L) e o seu declive (S); C - Factor relativo ao tipo de ocupação do solo; P - Factor antrópico (determinado pelas práticas agrícolas).



Nesta equação R é constante para escalas locais e a variabilidade de K é pouco relevante para o cálculo de A. Os factores C e P são factores antrópicos que, em escalas abrangentes, não afectam substancialmente os resultados. O LS é o factor determinante, responsável pelas maiores diferenças numa determinada área e é neste âmbito que os dados LiDAR de elevada resolução espacial podem ser uma mais valia e contribuir para uma melhor definição do relevo em geral particularmente dos declives e da rede hidrográfica, aumentando a qualidade e detalhe da cartografia das AEREHS.

Na Figura 6, à esquerda, mostra-se informação do PDM de Sintra disponibilizada em visualizador dedicado da Câmara Municipal de Sintra, sendo a superfície correspondente a AEREHS padronizada com riscas transversais no sector oriental. À direita, estão representadas as áreas com LS correspondendo a AEREHS e as Áreas de Risco de Movimento de Vertente (ARMV). A superfície que está classificada como AEREHS no PDM está delimitada por traço negro/preto.

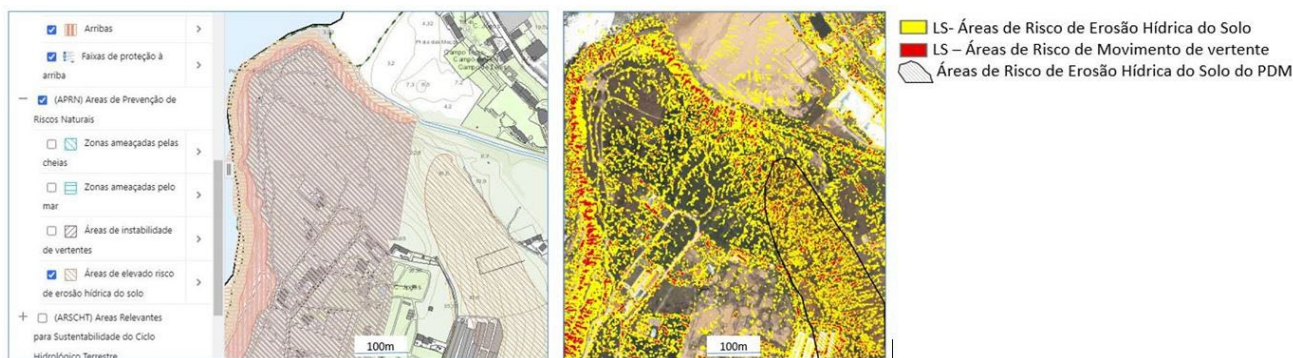


Figura 6 – Área a sul da Praia das Mações: confrontação entre as AEREHS do PDM de Sintra (à esquerda) e as AEREHS e ARMV obtidas pelo cálculo do factor topográfico com recurso a LiDAR (à direita). (Fonte das imagens de base e PDM: visualizador de SIG da CMS e PDM de Sintra - <https://cm-sintra.pt/territorial/plano-diretor-municipal/visualizadorsig>).

Constata-se que a área delimitada no PDM como AEREHS tem, em geral, boa concordância com as áreas de maior densidade de amarelos e vermelhos (AEREHS e ARMV). No entanto, a área a Norte, situada entre a AEREHS e a Faixa de Protecção da Arriba, no PDM, em princípio também deveria ter sido incluída na AEREHS e não o foi, provavelmente devido à falta de resolução do MDT usado.

5.4 Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (Proença-a-Nova)

Neste exemplo vamos analisar e fazer a comparação entre a distribuição espacial do LS obtido com base num MDT LiDAR e as áreas classificadas como “Áreas de Erosão” no PDM. À esquerda da figura 7 apresenta-se o MDT da área obtido com base nos dados LiDAR (espaçamento de 1m). À direita na figura 7 estão representadas as “Áreas de Erosão” do PDM (que correspondem à agregação de AEREHS e ARMV) usando um padrão de riscas oblíquas castanhas claras. A amarelo representam-se as áreas com LS correspondente a AEREHS ($1 < LS < 6$) e a castanho escuro representam-se as áreas correspondendo a ARMV ($LS > 6$).

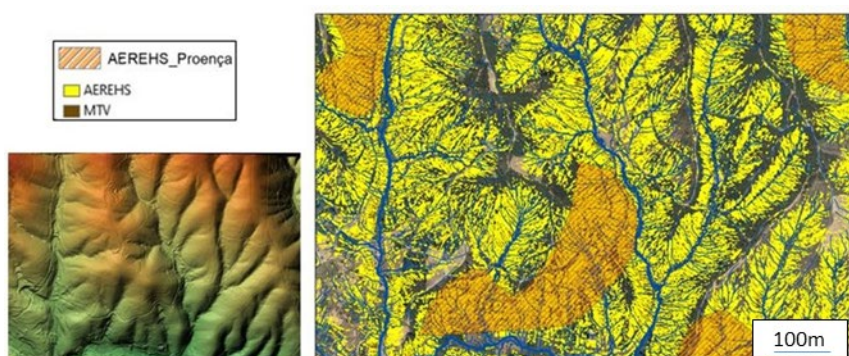


Figura 7 – Área a Norte de Proença-a-Nova, a Este de Serzedinha e Montelhada: MDT e sobreposição das áreas com LS correspondendo a AEREHS (a amarelo) e ARMV (a castanho escuro), determinadas com base no MDT derivado de informação LiDAR, com as áreas de risco de erosão no PDM (linhas oblíquas em castanho claro) (Fonte: PDM Proença-a-Nova - <https://www.cm-proencanova.pt/797/informacao-geografica>).

Constata-se a existência de enormes diferenças entre as “Áreas de Erosão” no PDM e as “AEREHS + ARMV” calculadas com base em informação altimétrica detalhada do levantamento LiDAR. Estas diferenças devem-se sem dúvida às diferentes metodologias utilizadas e por análise detalhada da Área de Erosão do PDM na área central da figura temos dificuldade em



compreender que critérios(s) poderão ter estado na sua delimitação. As diferenças de resultados entre as AEREHS nos PDMs e as áreas correspondentes obtidas através da implementação computacional usando MDTs de elevada resolução apontam para a necessidade de utilização de dados de elevada resolução espacial para melhorar os resultados e reduzir a discricionariedade e/ou aleatoriedade das classificações.

6. Conclusões

Pretendeu-se com este trabalho explorar dar alguns exemplos do potencial dos dados LiDAR para a delimitação de objetos cartográficos da REN. Assim, após uma breve referência ao enquadramento legislativo e por uma descrição sucinta da cartografia da REN, procedeu-se a uma breve caracterização da tecnologia e dados obtidos por meio de levantamentos LiDAR. De seguida verificaram-se as vantagens dos dados LiDAR quer em termos de resolução, nomeadamente para discriminar classes de declive, quer em termos de definição/delimitação de objetos cartográficos no terreno, usando para tal o exemplo das AEREHS.

Este estudo revelou que os dados provenientes de levantamentos LiDAR põem à disposição do utilizador informação mais detalhada (ex.: MDT, MDS, declives, exposições) e exacta que os dados usados até agora na delimitação de objectos da REN. Este tipo de dados permite a substituição, com vantagens, de dados que anteriormente eram recolhidos, por diferentes técnicas e em diferentes contextos, permitindo também incorporar dados de natureza nova (i.e.: nuvem de pontos) e com potencial para a utilização de novas metodologias de exploração de dados.

As principais vantagens dos dados LiDAR para a delimitação de objectos da REN estão sobretudo relacionadas com a superabundância de informação posta à disposição dos utilizadores, possibilitando melhores resoluções e exactidões dos objectos derivados bem como uma maior facilidade de se manterem os dados actualizados para grandes áreas ou regiões. As principais dificuldades advêm de serem necessárias grandes capacidades de processamento e de armazenamento de dados e do facto de o processamento destes dados envolver processos de edição e verificação exigentes e a pesquisa por métodos de generalização eficazes. Em suma, com base nos resultados deste trabalho, julga-se que a utilização de dados LiDAR pode constituir, num futuro próximo, um novo paradigma enquadrando os processos de delimitação e identificação dos objectos da REN.

Referências Bibliográficas

ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2014) ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Edition 1, Version 1.0.0, ASPRS Map Accuracy Working Group, November 2014.

CCRD-LVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (2015) Guia metodológico para delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo. Direção de Serviços de Ordenamento do Território, CCDR-LVT, julho de 2015.

Decreto-Lei nº321/83, de 5 de Julho (Revogado). Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/321-1983-452965>

Decreto-Lei nº166/2008, de 22 de Agosto. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2008-34501775>

Decreto-Lei nº124/2019, de 28 de Agosto. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/124-2019-124256708>

DGT - Direção Geral do Território (2020) Norma técnica - Reserva Ecológica Nacional: Produção e reprodução das cartas de delimitação da REN. Versão 31-12-2021.

Heidemann, H. (2018) LiDAR Base Specification. Version 1.3, February 2018, National Geospatial Program, U. S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

Portaria nº336/2019, de 26 de Setembro. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/portaria/2019-148444020>