

# Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana (GNR), para a determinação de áreas ardidas

Vasco LOPES<sup>1</sup>, Marina ABREU<sup>1</sup>, e Luísa GONÇALVES<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar (Portugal)

<sup>2</sup> Câmara Municipal de Leiria, Leiria (Portugal)

<sup>3</sup> INESC Coimbra (Portugal)

(vaalopes19@gmail.com; mcraabreu@gmail.com; lgoncalves@cm-leiria.pt)

**Palavras-chave:** Incêndios rurais, Sentinel-2A, NDVI, Detecção remota

**Resumo:** Os incêndios rurais são cada vez mais frequentes no nosso país, sendo as alterações climáticas um dos fatores que contribuem para uma maior ocorrência de grandes incêndios rurais. Como as áreas florestais percorridas por incêndios constituem uma das condicionantes dos Planos Diretores Municipais é necessário delimitar a área ardida com rigor. Acresce o facto de que terrenos percorridos por incêndios, ficam condicionados pelo prazo de 10 anos.

Neste artigo, é apresentado o estudo desenvolvido com recurso a técnicas de deteção remota e ferramentas de sistemas de informação geográfica, para determinar as áreas ardidas em 2017, tendo sido utilizadas imagens multiespectrais do Sentinel 2A com uma resolução de 10 metros. O período em estudo vai de junho a outubro de 2017 e a área de estudo localiza-se na região do Médio Tejo, zona onde ocorreram vários incêndios que consumiram elevadas áreas de floresta. Foram utilizadas imagens do Sentinel 2A adquiridos antes e depois dos incêndios de agosto de 2017 e foi utilizado o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Os resultados do estudo permitem avaliar se as imagens e o modelo desenvolvido podem constituir uma ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana, que detém a obrigação de validar as áreas ardidas, e, assim, contribuir como complemento à recolha de dados obtidos através de sistemas GNSS, para a delimitação das áreas ardidas.

## 1. Introdução

A dimensão da área afetada por incêndios em Portugal tem sido muito significativa nos últimos anos e agravou-se de forma extraordinária no ano 2017. A este facto, acresce o potencial destrutivo dos incêndios, o que tem levado a que estes acontecimentos tenham deixado de ser considerados um problema natural nos climas mediterrânicos e evoluíssem para um problema de ordem social, económico e político. Esta situação veio expor a fragilidade da política de gestão da floresta e planeamento do espaço rural que tem sido efetuada. Como resultado, o actual quadro de ordenamento do território nacional tem-se caracterizado por uma panóplia de Planos de diferentes níveis para o sector Florestal (e.g. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), Plano Regional de Ordenamento Florestal (PROF), Planos Distritais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PDDFCI), Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI)) e têm surgido diversas peças legislativas no sentido de uma mudança de abordagem e convergência de esforços de todas as partes direta ou indiretamente envolvidas.

O Instituto da Conservação da Natureza e das Floresta (ICNF) sendo um dos pilares do Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, tem a responsabilidade de manter atualizada a base de dados relativa a incêndios florestais, através do Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais (SGIF) e o registo cartográfico das áreas ardidas. Atualmente, compete à GNR o levantamento cartográfico das áreas ardidas por incêndios rurais em áreas iguais ou superiores a 1 ha (Lei n.º 76/2017) e a sua introdução no SGIF. Esta cartografia serve como base nas condicionantes à alteração do uso do solo. No caso de grandes áreas ardidas com muitos hectares o levantamento por métodos topográficos clássicos ou recorrendo ao sistema GNSS, é moroso. Por esta razão, pretendeu-se avaliar se é possível acelerar o processo, no caso de grandes incêndios, utilizando deteção remota com imagens de satélite.

Segundo Fonseca *et al* 2004, as características espectrais do coberto vegetal existente na superfície terrestre variam consideravelmente no tempo e no espaço e, embora cada espécie vegetal apresente características espectrais específicas, estas podem apresentar variações em função da zona geográfica em que a espécie se encontra e das estações do ano.

Estudos recentes têm evidenciado que a potencialidades das imagens Sentinel na identificação quer de culturas na zona agrícola (Saraiva e Navarro, 2015) quer na identificação de áreas ardidas (Rocha *et al*, 2013). Os resultados apresentados no estudo desenvolvido por Navarro *et al*. (2017), com recurso a imagens Sentinel-2 para avaliar os índices de gravidade do incêndio na Madeira durante agosto de 2016, evidenciaram que estas imagens constituem uma ferramenta importante para a monitorização pós-incêndio.

Neste estudo, o foco foi avaliar o potencial das imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio ao levantamento cartográfico das áreas ardidas. Para a classificação das imagens foram usados dois classificadores o classificador da máxima verosimilhança e a rede neuronal MLP - *multi-layer perceptron*.

## 2. Estudo de Caso

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada foi o Médio Tejo (figura 1), que corresponde aos municípios de Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Sertã, Tomar, Torres Novas, Vila de Rei e Vila Nova da Barquinha. A análise de resultados de comparação das áreas ardidas, (figura 2) determinadas por deteção remota e as recolhidas com recurso a sistemas GNSS, só foi efetuada para os concelhos de Ferreira do Zêzere e Tomar em virtude de não se possuir dados fidedignos em sistema GNSS das grandes áreas ardidas nos outros concelhos. Estas áreas correspondem aos incêndios de 5 e 12 de agosto em Tomar e de 11 de agosto em Ferreira do Zêzere do ano de 2017.

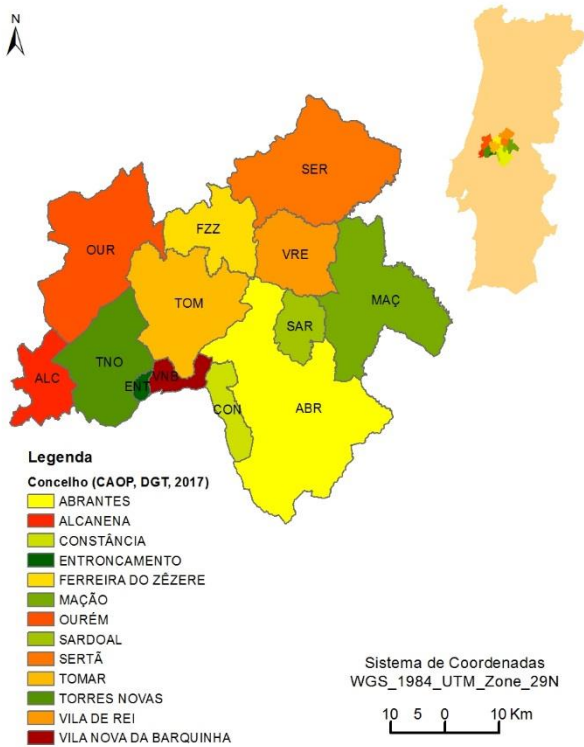


Figura 1 – Área de Estudo

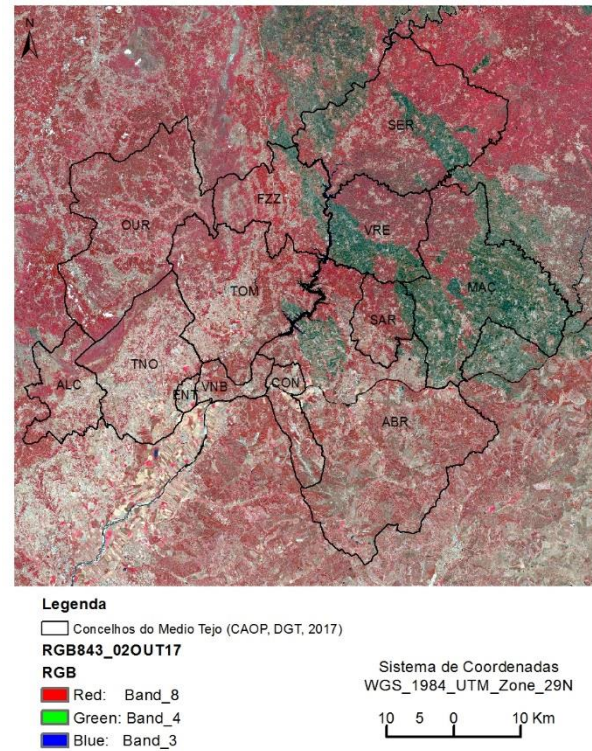


Figura 2 – Imagem RGB 843 de 02OUT17

## 2.2 Imagens de Detecção Remota

As imagens seleccionadas do Sentinel-2A MSI, foram escolhidas tendo em conta o período em estudo, pelo que se obteve as imagens pré incêndios de 04 de junho de 2017 e pós incêndio de 02 de outubro de 2017, tendo sido necessário duas coleções de imagens para cada dia em virtude da área de estudo se localizar na junção de duas imagens. As bandas escolhidas foram: 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo), estas foram obtidas gratuitamente no site da *European Space Agency* (ESA) associadas ao sistema de coordenadas (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_29N). As bandas utilizadas apresentam uma resolução espacial de 10m (figura 3, quadro 1).

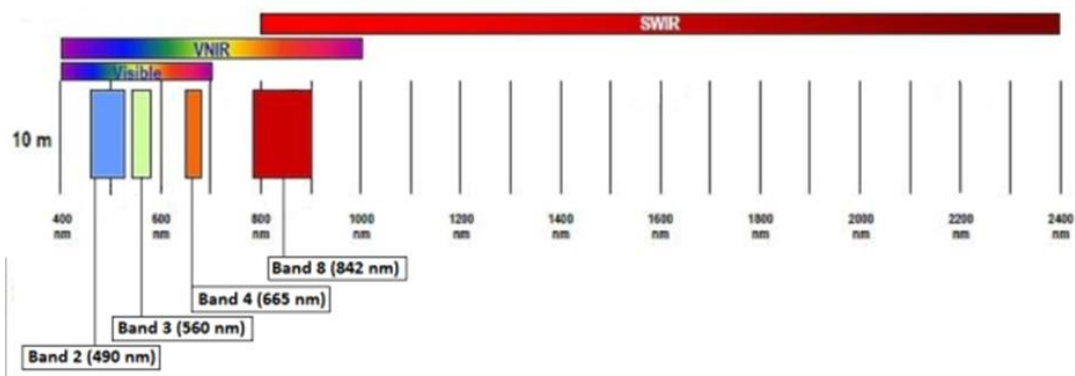


Figura 3 - SENTINEL-2 Bandas com resolução espacial 10 m: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) e B8 (842 nm) (Fonte:ESA)



**Quadro 1- Bandas utilizadas e suas características**

Nº de banda	2	3	4	8
Comprimento de onda (nm)	496.6	560.0	665	842
Resolução espacial (m)	10	10	10	10

### 2.3 Metodologia

A metodologia aplicada dividiu-se nas seguintes etapas: processamento das imagens Sentinel-2A; definição das áreas de treino e teste para as imagens de junho e outubro de 2017; classificação das imagens utilizando os classificadores da máxima verosimilhança e rede neuronal *MLP*; análise e exactidão temática utilizado índices estatísticos; análise da detecção de alterações ocorridas entre junho e outubro efetuada com base nos mapas para os quais se obteve maior exactidão global; análise comparativa entre as manchas obtidas por detecção remota e por GNSS para os concelhos de Ferreira do Zêzere e Tomar.

Para definir as áreas de treino, foram escolhidas 50 amostras por classe dispersas por toda a imagem. Para classificar a imagem de outubro foram consideradas 4 classes: corpos de água, coberto vegetal, coberto não vegetal, áreas ardidas. Para a imagem de junho foram consideradas as três classes: corpos de água, coberto vegetal e coberto não vegetal. Não foi identificada a classe “área ardida” para a imagem de junho, porque nessa data áreas ardidas existentes não eram significativas, tinham uma dimensão muito reduzida e apresentavam uma assinatura espectral semelhante a outras ocupações do solo.

As áreas de teste foram definidas com recurso a uma amostra estratificada, tendo sido também escolhidas 50 amostras por classe e após a identificação do local, recorreu-se a orto fotos para identificar a classe correta.

Para avaliar a exactidão temática dos mapas produzidos com os algoritmos da máxima verosimilhança e rede neuronal *MLP*, com o objetivo de identificar o melhor classificador, foi construída uma matriz de confusão.

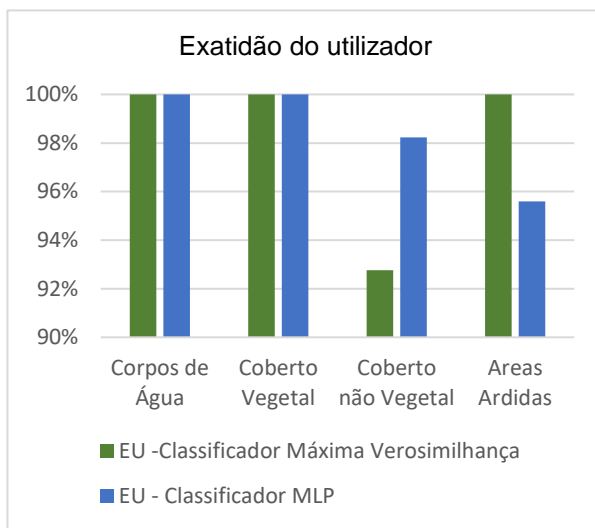
Após a classificação das imagens, aplicou-se uma função de generalização, que consiste numa operação de vizinhança em que o valor de cada célula de saída é obtido em função dos valores de todas as células de entrada que estão numa vizinhança especificada em torno dessa localização, o que permite corrigir as áreas classificadas para que não exista um pixel de uma classe isolado no meio de outra classe. Após este processo, o mapa de outubro de 2017 foi reclassificado em duas classes “área ardida” e “área não ardida”.

Os levantamentos das áreas ardidas efetuados pela GNR com recurso a GPS encontravam-se no sistema de coordenadas Lisboa\_Hayford\_Gauss\_IGeoE, foram transformadas para o sistema de coordenadas WGS\_1984\_UTM\_Zone\_29N, e convertidos para formato matricial com pixéis de 10m. De referir que embora o levantamento tenha sido efectuado com equipamentos que permitem alcançar uma precisão de 1m, a exactidão do sistema depende de vários fatores, dentre eles: configuração do sistema GPS no momento do posicionamento; frequência do sinal GPS utilizado para o posicionamento, configuração do receptor GPS, como taxa de aquisição, máscara de elevação; interferência do multicaminhamento no sinal GPS, e o método utilizado para a correção diferencial (satélite, rádio, pós-processado). Os levantamentos efectuados pela GNR, utilizados para comparação, não foi utilizada correção diferencial, desconhecendo-se os valores dos desvios obtidos e que podem ser de vários metros como demonstra o estudo efectuado por Stabile *et al* (2006).

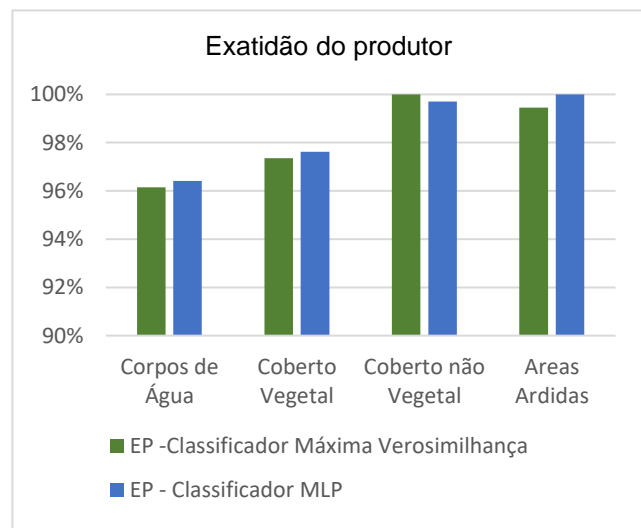
Após a reclassificação do mapa temático obtido com as imagens de outubro, foi efetuada uma detecção das alterações de forma a identificar de forma automática o tipo de classe existente na imagem de junho que ardeu. Por último, foi efectuada uma análise comparativa entre a área ardida delimitação pelo levantamento recorrendo ao sistema GNSS, e a área ardida extraída por classificação automática da imagem sentinel.

### 3. Resultados

Para avaliar a exactidão temática dos resultados obtidos, construiu-se uma matriz de confusão. A exactidão global do mapa obtido em outubro de 2017 com o classificador Máxima Verosimilhança foi de 98,5% e com o classificador MLP foi de 98,9%. A exactidão global do mapa obtido em junho de 2017 com o classificador Máxima Verosimilhança foi de 98,3% e com o classificador MLP foi de 99,4%. Nas figuras 4 e 5 constam os gráficos comparativos com os valores da exactidão do produtor (EP), e a exactidão do utilizador (EU), obtidos com o classificador de máxima verosimilhança e classificador MLP em outubro.



**Figura 4** – Gráfico da exactidão do utilizador dos mapas produzidos com as imagens de outubro de 2017



**Figura 5** - Gráfico da exactidão do produtor dos mapas produzidos com as imagens de outubro de 2017

Para todas as classes do mapa obtido com o classificador MLP, à excepção do “coberto não vegetal”, o valor da exactidão do produtor apresenta melhores resultados relativamente ao classificador da Máxima Verosimilhança. Em termos da exactidão do utilizador o coberto não vegetal teve melhores resultados com o classificador da rede neuronal e as áreas ardidias obtiveram um melhor resultado com o classificador de máxima verosimilhança. As restantes classes apresentam valores semelhantes para ambos os classificadores. Embora o valor da exactidão global do mapa produzido com o classificador MLP (98,9%) seja ligeiramente superior, optou-se pelo mapa produzido com o classificador rígido da máxima verosimilhança (98,5%) em virtude de as áreas ardidias estarem mais bem classificadas, o que é comprovado não só pelos índices estatísticos, mas também através da análise visual efetuada.

Os mapas temáticos produzidos para outubro de 2017, com o classificador de máxima verosimilhança estão representados na figura 6 e com o classificador MLP na figura 7.

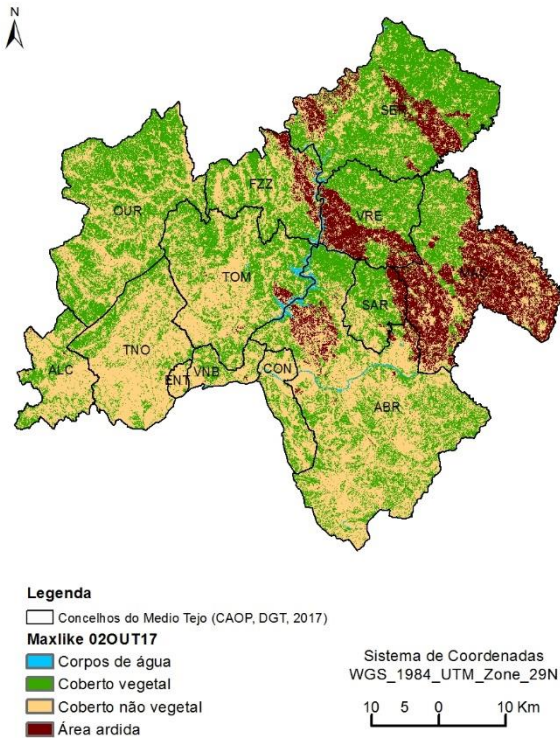


Figura 6 – Resultados Máxima Verosimilhança

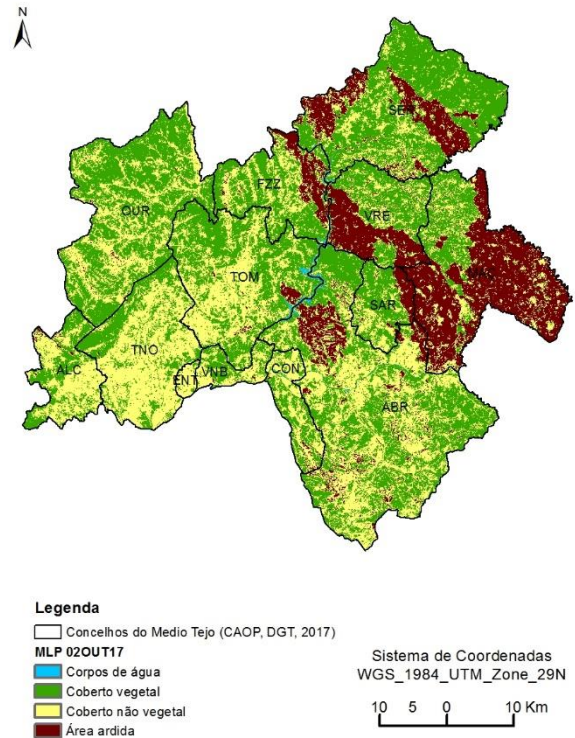
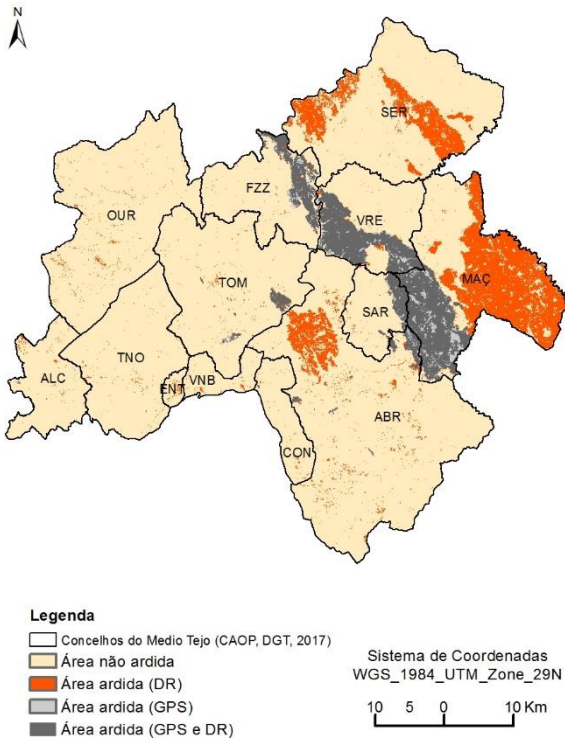


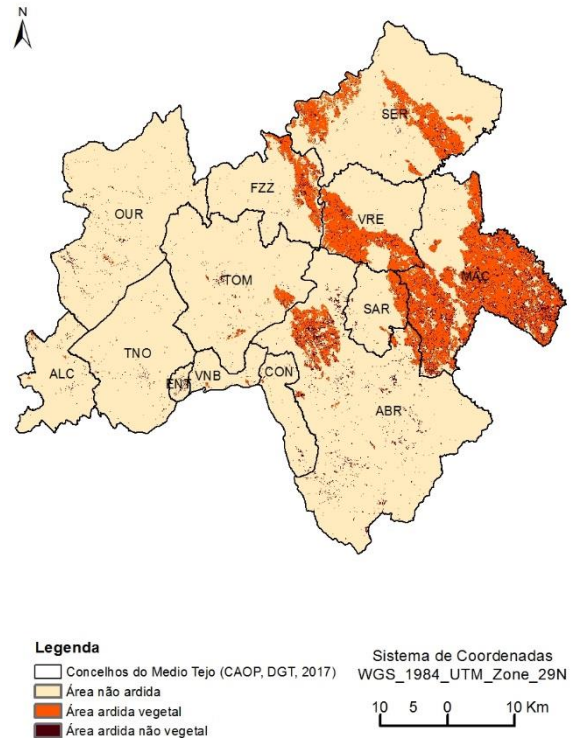
Figura 7 – Resultados MLP

Com o estudo efetuado foi possível verificar que só se obtém uma boa identificação das áreas ardidas quando a vegetação é totalmente carbonizada, sendo que em incêndios com diferentes intensidades, os resultados são mais díspares. Na figura 8 apresenta-se um mapa com as áreas ardidas determinadas por deteção remota e GPS.





**Figura 4** – Áreas ardidas determinadas por Detecção Remota (DR) e por GPS



**Figura 5** – Tipo de ocupação ardida

Com base no conhecimento no terreno das áreas percorridas pelos incêndios, e em virtude de se ter participado na realização dos levantamentos das áreas ardidas com recurso a sistemas GNSS, após os mesmos terem sido dados como extintos, podemos verificar que as maiores discrepâncias ocorrem nas fronteiras com as áreas urbanizadas, ou seja, junto dos aglomerados populacionais e nas zonas agrícolas que se encontram no limite da área ardida.

As áreas ardidas na interfase urbana e agrícola não foi bem delimitada, o que se pode dever ao facto dos incêndios em áreas com muita quantidade de combustíveis finos e mortos não exercer uma elevada desidratação dos solos, o que por sua vez implica a existência de alguma perturbação radiométrica, o que pode ser mal identificado como área ardida.

No quadro 2 apresentam-se os valores das áreas obtidas pelo levantamento com GPS e por deteção remota. Da análise dos valores obtidos podemos concluir que as áreas mais bem identificadas por deteção remota estão diretamente relacionadas com a intensidade do incêndio e não com a sua dimensão e a existência de áreas agrícolas ou urbanas na orla dos incêndios, tem interferência na qualidade do resultado.

**Quadro 2** – Comparação das áreas ardidas levantadas por GPS e as áreas determinadas por deteção remota e o tipo de ocupação do solo

	Ferreira do Zêzere (11AGO17)	Tomar (12AGO17)	Tomar (05AGO17)
<b>Área Ardida (GPS) ha</b>	3323,8	545,2	22,0
<b>Área Ardida classificada (DR) ha</b>	2796,5	496,8	19,7
<b>Exatidão %</b>	84%	91%	89%
<b>AA Coberto vegetal (DR) ha</b>	2478,4	463,2	17,9
<b>AA Coberto não vegetal (DR) ha</b>	318,1	33,6	1,8
<b>AA Coberto não vegetal (DR) %</b>	11%	7%	9%

Considera-se ainda que a correta identificação das áreas ardidas, pode ser também influenciada pela velocidade com que o incêndio percorreu toda a área, com consequências na forma como a vegetação ficou carbonizada, sendo que no caso de Ferreira do Zêzere foi cerca de 48 horas, Tomar (12AGO17) foi cerca de 6 horas e Tomar (05AGO17) foi cerca de 3 horas. Verificou-se que nos incêndios onde ardeu maior área em menos tempo, os resultados da detecção remota aproximam-se mais das áreas levantadas por sistemas GNSS.

As áreas ardidas eram ocupadas maioritariamente por coberto vegetal onde se inclui todo o tipo de vegetação como floresta e matos, a área classificada como ardida na classe “coberto não vegetal”, foi, conforme já referido, menos bem identificada, pelo que reforça a ideia de que as áreas urbanas são determinantes para se obter um bom resultado da exatidão do mapa.

### 3. Conclusões

O estudo evidenciou que a detecção remota pode constituir uma mais valia para a validação de grandes áreas ardidas, onde o levantamento com recurso a sistemas GNSS seja muito demorado e dispendioso, devendo contudo, ser efetuadas mais análises com outras áreas de estudo.

Analisando os resultados obtidos verifica-se que existem vários fatores que influenciam a exactidão da identificação das áreas ardidas, como seja a aplicação de diferentes classificadores, o comportamento do incêndio com a existência de áreas em que ardeu tudo completamente e outras em que ficam as copas das árvores por arder. Tendo-se verificado ainda que as zonas de fronteira das áreas ardidas junto a áreas urbanas ou agrícolas, também são menos bem identificadas.

Comparando as áreas ardidas identificadas por detecção remota, a partir das imagens Sentinel 2A, com as obtidas por GPS, constata-se que à uma coincidência entre 84% e 91%. Por este facto, considera-se que na determinação de grandes áreas ardidas, esta pode ser realizada com recurso à detecção remota em complemento com o sistemas GNSS principalmente na interfase urbana, o que permitiria obter uma cartografia mais célere.

### Referências Bibliográficas

- Copernicus Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, consultada em 7 de julho de 2018;
- Fonseca, A.D.; Fernandes, J.C. (2004), Detecção remota, Lidel-Edições Técnicas, Lda., Lisboa;
- Lei n.º 76/2017 de 17 de agosto, Diário da República n.º 158/2017, Série I de 2017-08-17, páginas:4734 – 4762;
- Navarro, G.; Caballero, I.; Silva, S.; Parra, P.; Vázquez, A.; Caldeira, C.; (2017), Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery, Elsevier, 97-106;
- Rocha, R.; Lourenço, L.; Gonçalves, G. R.; (2014), Uso de sensores remotos como ferramenta para mapeamento de áreas queimadas por incêndios florestais: o exemplo do município de Oliveira do Hospital no ano de 2013, pombalina.uc, 159-163;
- SARAIVA, C.; NAVARRO, A.;(2015), Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas;
- Stabilel, M. C. C; L. A. Balastreirell, (2006), Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. Engenharia Agrícola, Jaboticabal Jan./Apr, vol.26, no.1
- SENTINEL-2 User Handbook(2015) - [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook/](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook/), consultada a 29 de julho;