



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



UNIÓN EUROPEA



CILIFO
Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales



LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Avaliação dos produtos *Copernicus Global Land Service* para o seguimento dos estados da superfície florestal



Ação: "4.1"
Programa: "4.1.1"
Projeto: "4.1.1.5"
Entregável: "D.1.1.5"

Relatório Técnico

Universidade de Évora

Autores: Vanda Salgueiro
Maria João Costa

ÍNDICE

1. Introdução e objetivo do trabalho	3
2. Metodologia	4
2.1. Descrição dos indicadores de vegetação CGLS seleccionados	4
2.1.1. Produtividade de matéria seca	4
2.1.2. Índice de água no solo	4
2.1.3. Índices de condição da vegetação e de produtividade da vegetação	5
2.1.4. Temperatura da superfície da terra	5
2.2. Casos de estudo seleccionados	6
2.3. Metodologia de análise	7
3. Resultados e discussão	8
4. Considerações finais	15
5. Bibliografia	16
Anexos	18

1. Introdução e objetivo do trabalho

A missão Sentinel está a ser desenvolvida pela ESA especificamente para responder às necessidades operacionais do programa Copernicus. Estas missões contêm a bordo uma gama de tecnologias, tais como radar e radiómetros multi-espectrais para monitorização da terra, oceano e atmosfera. O lançamento das missões Sentinel-1 e 2, transportando instrumentos como o C-band synthetic aperture radar imaging (C-SAR) e o Multi-Spectral Instrument (MSI), trouxe uma grande oportunidade para estudar a superfície da terra. Estes satélites/sensores apresentam cobertura global sistemática de cerca de dois a três dias nas latitudes médias, o que suporta a monitorização de mudanças rápidas, com resolução espacial relativamente alta (MSI de 10 a 60 m). Graças à política de dados abertos e gratuitos do programa Copernicus da União Europeia, os dados da missão Sentinel estão disponíveis para os utilizadores. Por outro lado, o recurso a outras missões em órbita (PROBA-V, METOP, Meteosat) em sinergia com os Sentinel revelam-se também úteis.

O objetivo do trabalho é efetuar a análise e avaliação de produtos fornecidos pelo Copernicus Global Land Service (CGLS - <https://land.copernicus.eu/global/index.html>) para monitorização do estado da superfície, neste caso a vegetação terrestre, antes e depois da ocorrência de grandes incêndios florestais. São analisadas, entre outras, as seguintes variáveis: índice de água no solo que está relacionado ao teor de água no solo, índices de condição da vegetação e produtividade da matéria seca que representa a taxa de crescimento global ou o aumento da biomassa seca da vegetação. A temperatura da superfície da terra é também considerada na análise, mas neste caso utilizando os dados do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo do satélite Aqua da NASA, pelo facto dos dados de temperatura da superfície do CGLS apresentarem falhas em áreas de interesse para os casos de estudo que serão analisados.

Na secção 2 apresenta-se a metodologia, incluindo a descrição dos indicadores utilizados e os casos de estudo selecionados. Seguem-se os resultados que são apresentados na secção 3 e finalmente, na secção 4 resumem-se as considerações finais.

2. Metodologia

Para avaliar indicadores de vegetação selecionados, disponíveis através do CGLS (<https://land.copernicus.eu/global/index.html>; último acesso em 02/12/2020), e a temperatura da superfície (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>; último acesso em 02/12/2020) adotou-se uma metodologia baseada na análise espacial e temporal da evolução desses indicadores para casos de estudo de incêndios florestais. Nas seções seguintes descrevem-se os indicadores selecionados, ilustram-se os casos de estudo selecionados, descreve-se a metodologia utilizada na análise espacial e temporal, discutem-se os resultados e são apresentadas considerações finais.

2.1. Descrição dos indicadores de vegetação CGLS selecionados

2.1.1. Produtividade de matéria seca

A produtividade de matéria seca (DMP do inglês Dry Matter Productivity) é um indicador da taxa de crescimento da biomassa seca da vegetação, expressa em kg de matéria seca por hectare por dia (kg/ha/dia). O produto DMP (Swinnen et al., 2019) é obtido a partir de imagens do satélite PROBA-V combinados com dados meteorológicos do Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) e disponibilizado pelo CGLS ao utilizador a cada 10 dias com resolução espacial de 300 m e de 1 km. Os dados utilizados neste trabalho têm uma resolução espacial de 300 m.

2.1.2. Índice de água no solo

O índice de água no solo (SWI do inglês Soil Water Index) descreve o conteúdo de água no solo sendo expresso em percentagem de saturação. O SWI é baseado no produto SSM (Surface Soil Moisture) obtido a partir de medidas do Sentinel-1 (banda C-SAR) e no produto SSM obtido a partir do satélite Metop (sensor ASCAT) da EUMETSAT (H-SAF) (Bauer-Marschallinger et al., 2018; Bauer-Marschallinger e Paulik, 2019). A determinação do SWI usa um modelo de duas camadas (two-layer water balance) que não tem em conta a textura do solo. É calculado para 8 profundidades. Neste trabalho foi analisado o

SWI diário para as camadas mais próximas da superfície (parâmetro $T = 5$) a 1 km de resolução espacial.

2.1.3. Índices de condição da vegetação e de produtividade da vegetação

O índice de condição da vegetação (VCI do inglês Vegetation Condition Index) e o índice de produtividade da vegetação (VPI do inglês Vegetation Productivity Index) são ambos obtidos a partir do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). O NDVI (Rouse et al., 1974) é um índice indicativo da atividade fotossintética da vegetação e é calculado através da comparação da radiação solar refletida pela superfície na gama do visível e do infravermelho próximo (Swinnen e Toté, 2015). O VCI compara o NDVI observado com a gama de valores observados no mesmo período em anos anteriores (Kogan, 1990). O VCI, expresso em %, indica onde se situa um valor observado de NDVI entre os valores extremos (mínimo e máximo) de anos anteriores. Valores baixos e altos indicam respetivamente mau e bom estado das condições da vegetação. O VPI avalia a condição geral da vegetação fazendo referencia ao valor atual de NDVI com as estatísticas de longo prazo para o mesmo período (Sannier et al. 1998). O VPI é uma classificação percentual do atual NDVI em relação à sua gama histórica de variabilidade: valores de 0%, 50% e 100% indicam respetivamente que a observação atual corresponde ao mínimo histórico (pior estado da vegetação), mediano (estado normal) e máximo (melhor situação) já observado. Tal como outros indicadores da diferença entre os valores atuais e históricos, o VPI é sobretudo usado de forma qualitativa para detetar e delinear anomalias espaciais na condição e crescimento da vegetação, em extensão e intensidade. Isto é particularmente útil para monitorizar a estação de crescimento da vegetação. Ambos os indicadores, VCI e VPI, utilizados neste trabalho, com resolução espacial e temporal de respetivamente 1 km e 10 dias, são produzidos a partir do NDVI obtido do satélite PROBA-V.

2.1.4. Temperatura da superfície da terra

A temperatura da superfície da terra (LST do inglês land surface temperature) foi obtida através do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua, tendo sido utilizada a versão 6 do

produto de temperatura da superfície terrestre e emissividade. O método utilizado é baseado no algoritmo de separação entre emissividade e temperatura, que usa simulações de transferência radiativa para a correção atmosférica, e um modelo de emissividade baseado na variabilidade nos dados de radiância da superfície para obter iterativamente a LST e a emissividade espectral (Wan, 1999). O algoritmo é combinado com um esquema de correção atmosférica melhorado para condições muito quentes e húmidas. A incerteza associada à LST obtida do produto MODIS é de 1 K com resolução de 1 km em condições de céu limpo. Foi utilizada uma resolução temporal de 8 dias.

2.2. Casos de estudo selecionados

Foram selecionados 2 grandes incêndios florestais ocorridos em Portugal continental: o incêndio de Pedrógão Grande que ocorreu em junho de 2017 com uma área ardida de 45789 hectares (ICNF, 2017) e o incêndio de Monchique que ocorreu em agosto de 2018 com uma área ardida de 26763 hectares (ICNF, 2018).

O incêndio de Pedrógão Grande deflagrou a 17 de junho de 2017 no concelho de Pedrógão Grande (distrito de Leiria), em Portugal, tendo alastrado aos concelhos de Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Ansião, Sertã, Pampilhosa da Serra e Penela (Figura 1). No mesmo dia deflagrou outro incêndio de grandes proporções no concelho de Góis, distrito de Coimbra, que acabou posteriormente por alastrar aos concelhos de Pampilhosa da Serra e de Arganil. No dia 20 de junho de 2017 uma das frentes de fogo do incêndio de Pedrógão Grande juntou-se ao incêndio de Góis, formando uma área ardida contígua. O incêndio foi dado como extinto a 24 de junho de 2017. Este constituiu o maior desastre em termos de incêndios florestais de sempre em Portugal, tendo sido também o mais mortífero da história do país e o 11º mais mortífero a nível mundial desde 1900 (https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_florestal_de_Pedrógão_Grande_em_2017; último acesso: 19/11/2020).

O incêndio de Monchique deflagrou na serra de Monchique, na região do Algarve (distrito de Faro) em Portugal. O incêndio teve início na localidade de Perna da Negra, no concelho de Monchique, tendo posteriormente alastrado para parte dos concelhos de Silves e Portimão (Figura 1). O incêndio teve início por volta das 13 horas no dia 3 de

agosto de 2018 e foi parcialmente dominado na manhã do dia 10 de agosto (https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_de_Monchique_de_2018; último acesso: 19/11/2020).

2.3. Metodologia de análise

A metodologia desenvolvida para análise dos indicadores mencionados anteriormente baseia-se no cálculo de médias espaciais considerando-se dois tipos de áreas distintas, por um lado a área ardida devido ao incêndio e por outro lado, uma área "buffer" em torno da área do incêndio calculada considerando um raio de 2.5 km. Esta área pretende representar um termo de comparação para o estado da superfície antes, durante e depois de cada incêndio. As áreas ardidas nos incêndios, assim como as áreas "buffer" consideradas encontram-se representadas na Figura 1 para os incêndios de Pedrógão Grande e Monchique, respetivamente.

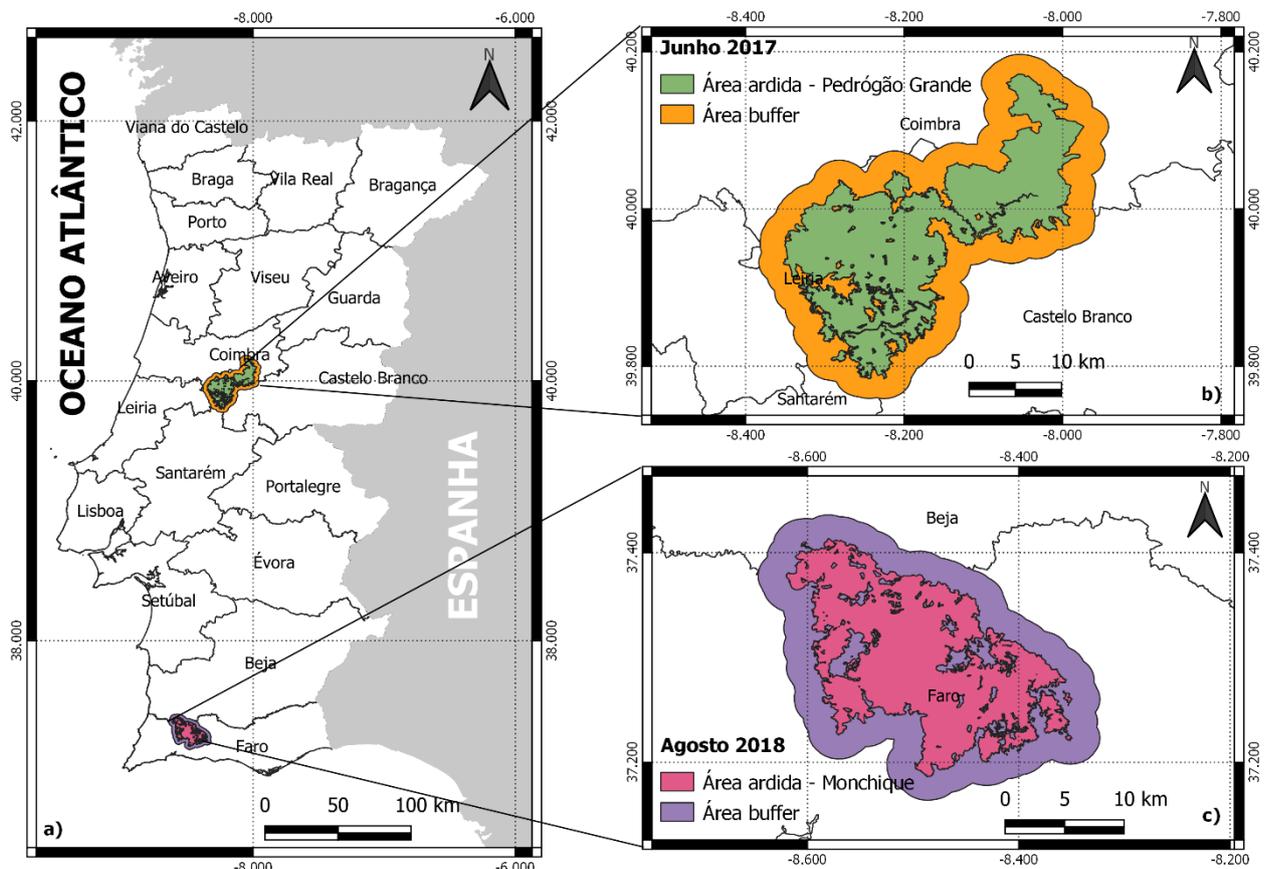
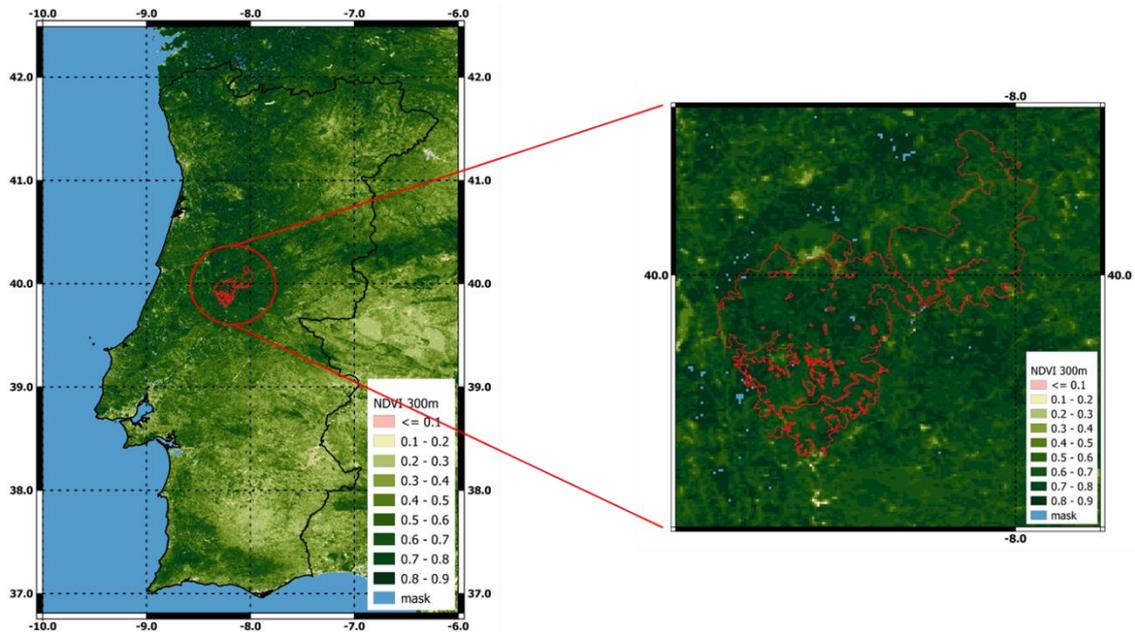


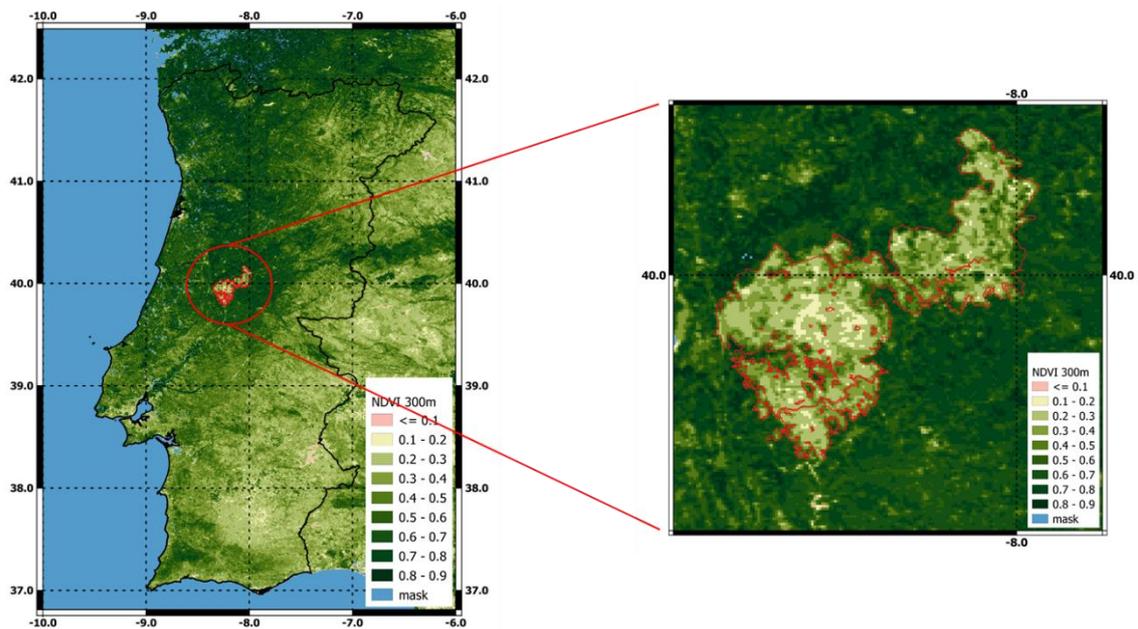
Figura 1. a) Mapa de Portugal continental com localização das áreas ardidas nos incêndios florestais de Pedrógão Grande (junho 2017; b)) e Monchique (agosto 2018; c)) e respetivas áreas "buffer" consideradas na análise.

3. Resultados e discussão

Nas figuras 2 e 3 o NDVI (do inglês Normalized Difference Vegetation Index) é apresentado com uma resolução espacial de 300 m antes e após os incêndios florestais de Pedrógão Grande em 2017 (figura 2) e de Monchique em 2018 (figura 3). O NDVI está relacionado com a fração de radiação fotossintética absorvida, sendo por isso um indicador da vegetação verde. Como seria de esperar, após os incêndios observa-se um decréscimo abrupto da vegetação nas áreas ardidas traduzido por valores baixos de NDVI.

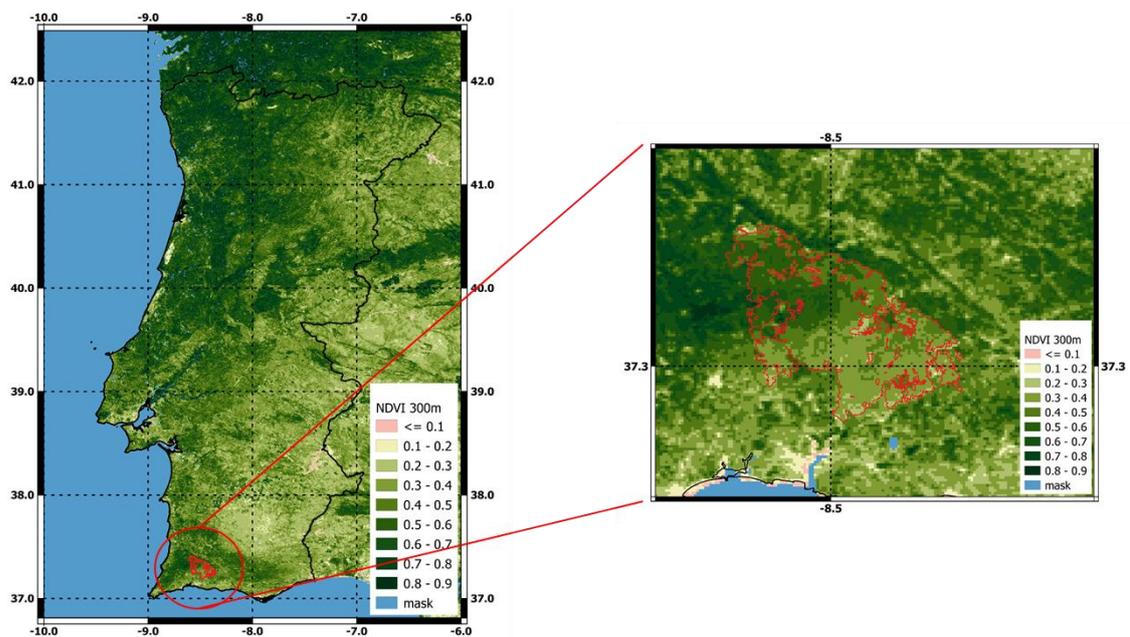


(a)

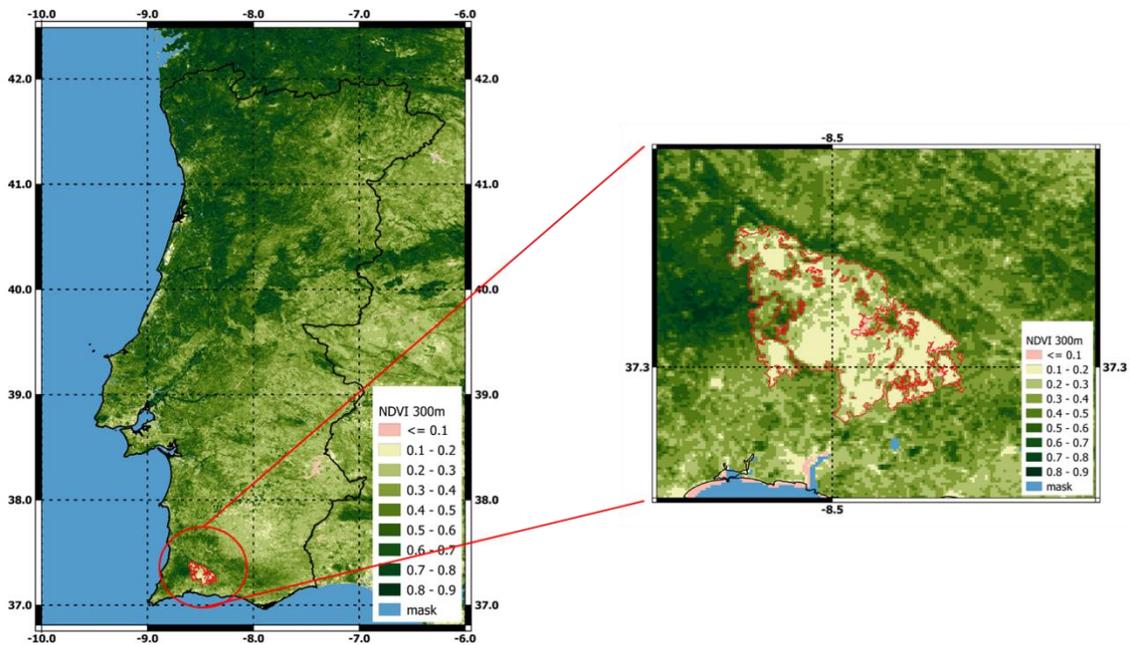


(b)

Figura 2. NDVI (a) em 1 de junho e (b) em 21 de junho de 2017. A área delimitada a vermelho é representativa da área ardida no incêndio de Pedrógão Grande que decorreu entre 17 e 24 de junho de 2017.



(a)



(b)

Figura 3. NDVI (a) em 1 de agosto e (b) em 21 de agosto de 2018. A área delimitada a vermelho é representativa da área ardida no incêndio de Monchique que decorreu entre 3 e 10 de agosto de 2018.

A Figura 4 apresenta a série temporal da produtividade de matéria seca nas áreas ardidas e nas respetivas áreas "buffer", para os incêndios florestais de Pedrógão Grande em 2017 (Figura 1a) e de Monchique (Figura 1b) em 2018. Em ambos os casos considerados o indicador apresenta um mínimo no Inverno, verificando-se gradualmente um aumento dos valores durante a Primavera. Os incêndios são caracterizados por uma descida abrupta do indicador de produtividade de matéria seca para a área ardida, distinguindo-se após o incêndio dos valores obtidos para a área "buffer". No caso do incêndio de Pedrógão Grande (Figura 1a), o indicador é praticamente igual para a área ardida e para a área "buffer" até à ocorrência do incêndio, no entanto após o evento, os indicadores correspondentes a cada uma das áreas distinguem-se claramente, com o da área buffer a apresentar valores superiores indicando a continuação da produtividade de matéria seca na região, enquanto que na zona ardida essa produtividade é muito inferior como seria de esperar. No caso do incêndio de Monchique (Figura 1b), a partir de maio começa a haver alguma distinção do indicador de produtividade de matéria seca entre ambas as áreas, com a área que virá a corresponder ao incêndio a apresentar valores

mais elevados, diferença essa que se acentua em junho e julho. Após o incêndio o indicador mantém-se mais baixo na área ardida relativamente à área de referência ("buffer").

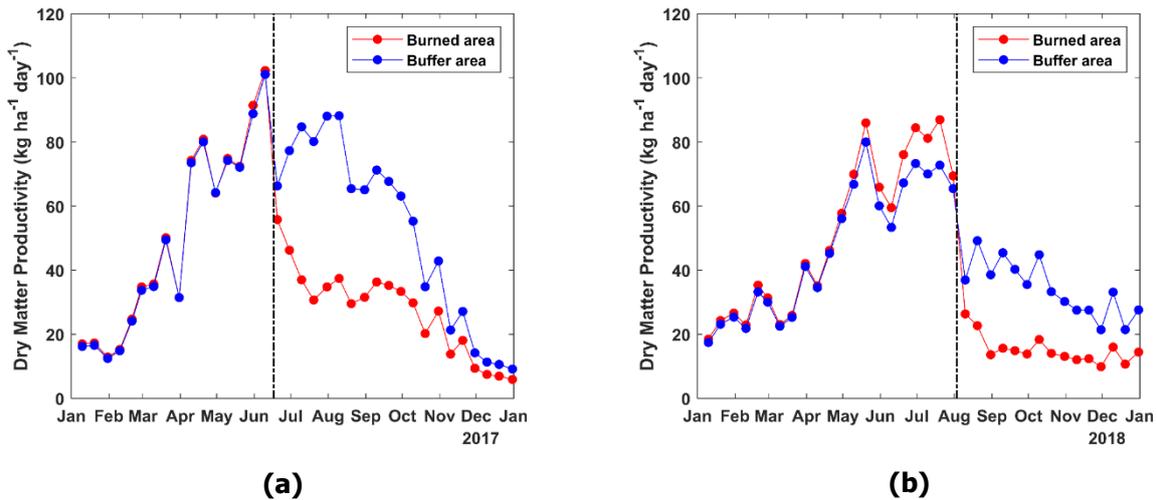


Figura 4. Produtividade de matéria seca (a) em 2017 na área ardida durante o incêndio de Pedrogão e na respetiva área "buffer" e (b) em 2018 na área ardida durante o incêndio de Monchique e na respetiva área "buffer". Os dados são apresentados a cada 10 dias. A linha tracejada em preto representa o dia em que se iniciou o incêndio (17-06-2017 (a) e 03-08-2018 (b)).

A Figura 5 apresenta a série temporal do SWI nas áreas ardidas e nas respetivas áreas "buffer", para os incêndios florestais de Pedrogão Grande em 2017 (Figura 1a) e de Monchique (Figura 1b) em 2018. Embora o SWI seja um indicador da humidade do solo, não consegue captar o sinal dos incêndios tanto na região de Pedrogão (figura 5 (a)) como no incêndio de Monchique (figura 5 (b)). O sinal de SWI não se distingue entre as áreas ardida e "buffer" ao longo do ano, nem mesmo após os incêndios. O SWI oscila ao longo do ano tipicamente com valores maiores no outono/inverno devido à precipitação e menores no verão. De notar que na figura 5 (b) até março o SWI decresceu devido à seca que ocorreu no ano hidrológico de 2017/2018, a partir de março de 2018 o SWI sobe bruscamente devido à precipitação que ocorreu durante este mês e no mês de abril.

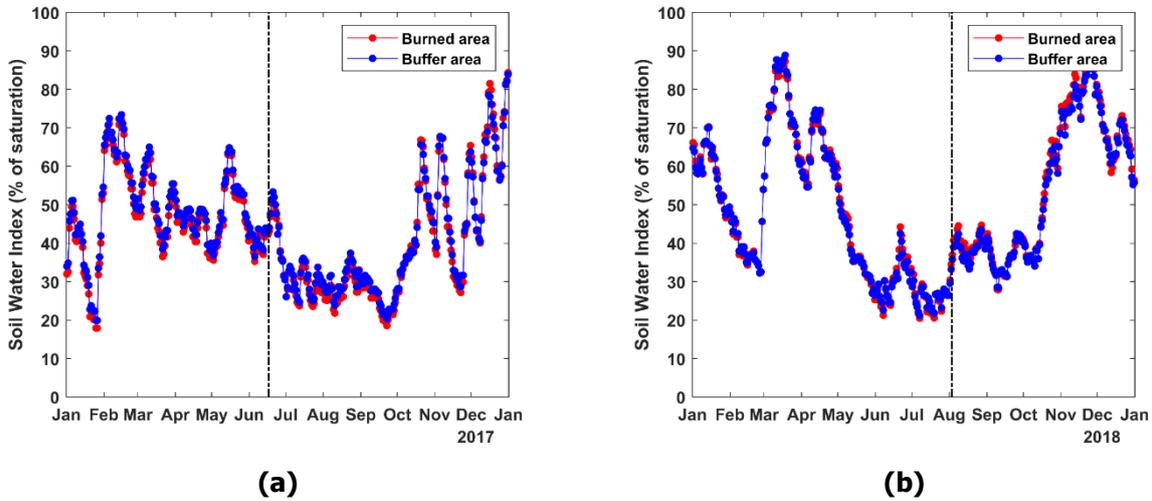


Figura 5. Índice de água no solo diário nas camadas mais próximas da superfície (parâmetro T=5) (a) em 2017 na área ardida durante o incêndio de Pedrogão e na respetiva área “buffer” e (b) em 2018 na área ardida durante o incêndio de Monchique e na respetiva área “buffer”. A linha tracejada em preto representa o dia em que se iniciou o incêndio (17-06-2017 (a) e 03-08-2018 (b)).

As figuras 6 e 7 ilustram a variação temporal de VCI (figura 6) e de VPI (figura 7) durante 2017 e 2018 nas regiões de Pedrogão Grande e Monchique. Ambos os indicadores aumentam nos primeiros meses do ano atingido valores máximos na primavera, observando-se um aumento mais acentuado na região de Pedrogão Grande (figuras 6(a) e 7(a)) do que na região de Monchique (figuras 6(b) e 7(b)). Em geral, atendendo aos valores de VCI, a vegetação encontra-se em bom estado em ambas as regiões até ao dia dos incêndios a partir dos quais se observa uma queda abrupta de VCI para valores próximos de zero (figura 6). Nas áreas buffer também se observa uma diminuição do VCI a partir do meio do ano, neste caso mais acentuada em Pedrogão Grande do que em Monchique. Esta diminuição está relacionada com a resposta da vegetação às estações do ano e meteorologia. De notar as elevadas temperaturas da superfície (figura 8 e 9). A diminuição mais acentuada no caso de Pedrogão Grande estará relacionada com o tipo de vegetação aí existente.

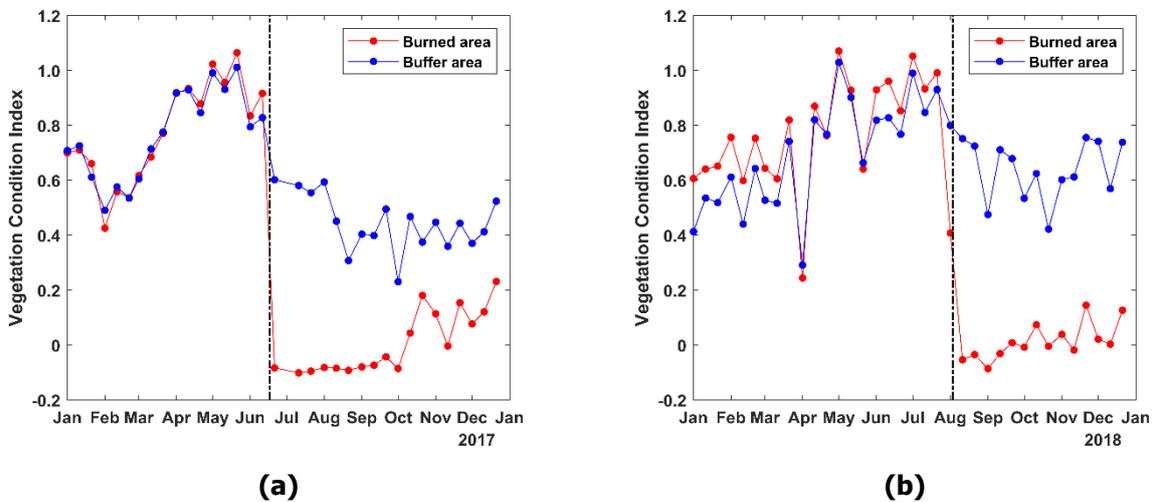


Figura 6. Índice de condição da vegetação (a) em 2017 na área ardida durante o incêndio de Pedrogão e na respetiva área “buffer” e (b) em 2018 na área ardida durante o incêndio de Monchique e na respetiva área “buffer”. Os dados são apresentados a cada 10 dias. A linha tracejada em preto representa o dia em que se iniciou o incêndio (17-06-2017 (a) e 03-08-2018 (b)).

Os valores de VPI observados indicam que na região de Pedrogão Grande a vegetação a partir de meados de março apresenta um estado normal a muito bom (VPI a variar entre 55% a 95%) relativamente a anos anteriores no mesmo período, tanto na área ardida como na área “buffer”. Após o incêndio, o VPI diminui em ambas as áreas como seria de esperar. Na área ardida, o VPI assume valores em torno de 0% indicando que a vegetação se encontra no pior estado comparativamente a anos anteriores no mesmo período. No caso de Monchique, a evolução do VPI é semelhante ao que acontece na região de Pedrogão Grande, no entanto os valores de VPI são ligeiramente menores, mas dentro do estado normal relativamente a anos anteriores no mesmo período para esta região. De notar que o VPI ao longo do ano até ao incêndio assume valores ligeiramente superiores na área ardida comparativamente à área “buffer” indicando que a vegetação apresentava melhor estado na área ardida do que na área “buffer”. Após o incêndio, o VPI diminui para valores mínimos traduzindo o pior estado da vegetação. Em ambas as áreas “buffer”, o VPI diminui após os incêndios indicando alterações na vegetação em torno da área ardida. Tal como no caso de VCI, esta diminuição de VPI está relacionada com o ciclo anual da vegetação que depende das estações do ano e meteorologia da

região. A temperatura da superfície (figura 8(a) e (b)) é exemplo disso, durante e após os incêndios a temperatura da superfície mantém-se alta contribuindo para a secagem da vegetação levando à perda da sua pigmentação verde e deste modo à diminuição dos indicadores da vegetação, VPI e VCI, que se relacionam com o NDVI.

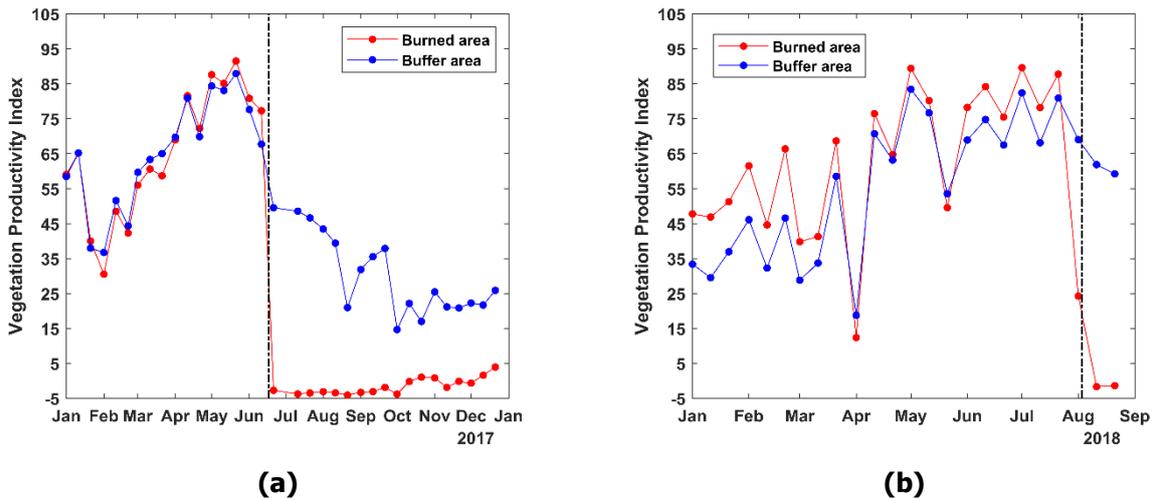


Figura 7. Índice de produtividade da vegetação (a) em 2017 na área ardida durante o incêndio de Pedrogão e na respetiva área "buffer" e (b) em 2018 na área ardida durante o incêndio de Monchique e na respetiva área "buffer". Os dados são apresentados a cada 10 dias. A linha tracejada em preto representa o dia em que se iniciou o incêndio (17-06-2017 (a) e 03-08-2018 (b)).

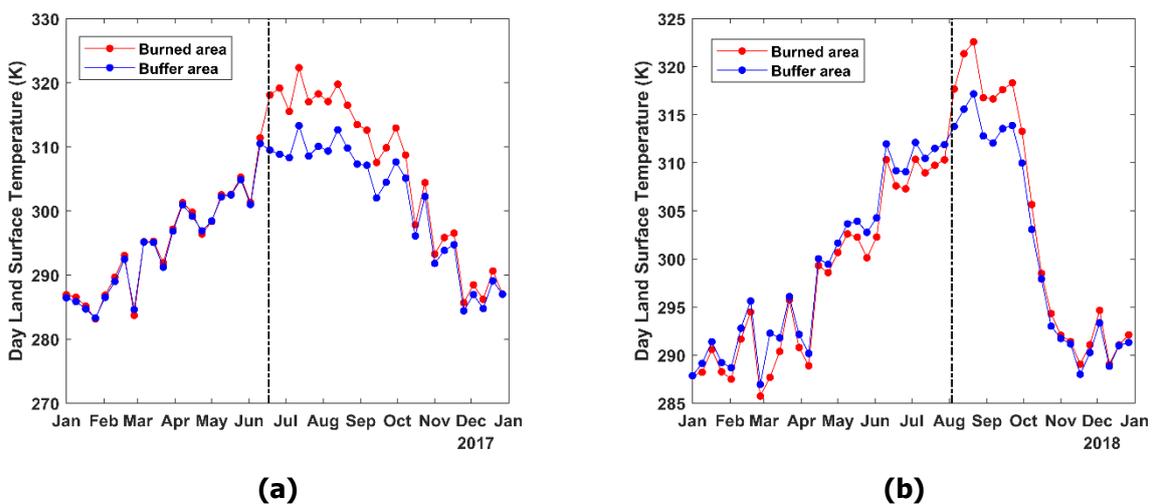


Figura 8. Temperatura da superfície na área ardida durante (a) o incêndio de Pedrogão Grande que ocorreu em junho de 2017 e na respetiva área "buffer" e (b) durante o incêndio de Monchique que ocorreu em agosto de 2018 e na respetiva área "buffer".

A Figura 8 apresenta a série temporal da LST nas áreas ardidas e nas respetivas áreas “buffer”, para os incêndios florestais de Pedrógão Grande em 2017 (Figura 1(a)) e de Monchique (Figura 1(b)) em 2018. A LST apresenta em ambos os casos o ciclo anual que seria de esperar, atingindo o mínimo no Inverno e o máximo no Verão. As áreas ardidas e “buffer” apresentam em geral valores muito semelhantes antes dos incêndios, distinguindo-se ligeiramente antes do incêndio no caso de Monchique (2018), curiosamente com valores inferiores na área que viria a arder em comparação com a área “buffer”. Após o início do incêndio a LST capta bem o sinal, apresentando valores mais elevados nas áreas de incêndio em comparação com as respetivas áreas “buffer”. Observa-se ainda que a LST continua a apresentar valores mais elevados nas áreas ardidas, em relação às áreas de comparação, mesmo depois dos incêndios como consequência das alterações das características da superfície.

4. Considerações finais

Foram considerados para este estudo dois grandes incêndios que ocorreram em Portugal continental nos últimos anos, um na região centro e outro na região sul do país. Todos os indicadores da vegetação analisados captam o sinal dos incêndios à exceção do SWI que varia de forma semelhante ao longo do ano nas áreas ardidas e “buffer”. O DMP e os indicadores que dependem do NDVI como o VCI e VPI, permitem seguir a evolução da vegetação captando o sinal dos incêndios. Estes indicadores da vegetação constituem possíveis candidatos para a determinação do estado da superfície em modelos de propagação.

5. Bibliografía

Bauer-Marschallinger, B., Paulik, C., Hochstöger, S., Mistelbauer, T., Modanesi, S., Ciabatta, L., Massari, C., Brocca, L., Wagner, W., Soil Moisture from Fusion of Scatterometer and SAR: Closing the Scale Gap with Temporal Filtering. *Remote Sensing* (2018), 1019, 1030. DOI 10.3390/rs10071030

Bauer-Marschallinger, B., Paulik, C., Algorithm Theoretical Basis Document: Soil Water Index Collection 1km version 1 Issue I1.20. 1-40 (2019).

ICNF. 10.º Relatório Provisório de Incêndios Florestais-2017, 01 de janeiro a 31 de outubro. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal. RIF10/2017. 1-19 (2017).

ICNF. Relatório Provisório de Incêndios Rurais-2018, 01 de janeiro a 15 de setembro. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal. 6ºRIR/DDFVAP/2018. 1-12 (2018).

Kogan, F.N.F., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. Remote Sens.* 11, 1405–1419.

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp*, December 10–15 1974, Greenbelt, MD, 3:301–317, NASA, Washington, D.C.

Sannier, C.A.D., Taylor, J.C., Du Plessis, W., Campbell, K., Plessis, W.D.U., 1998. Real-time vegetation monitoring with NOAA-AVHRR in Southern Africa for wildlife management and food security assessment. *Int. J. Remote Sens.* 19, 621–639.

Smets, B., Swinnen, E., Dierckx, W., Kempeneers, P., and van der Goten, R. Algorithm Theoretical Basis Document: Gio Global Land Component -Lot I "Operation of the Global Land Component" Issue I1.10. 1-88 (2014).

Swinnen, E., Hoolst, V.R., Algorithm Theoretical Basis Document: Dry Matter Productivity (DMP) and Gross Dry Matter Productivity (GDMP) collection 300m version 1 Issue I1.12, 1–52, 2019.

Swinnen, E.; Toté, C., Algorithm Theoretical Basis Document: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) V2 Vegetation Condition Index Vegetation Productivity Index Issue I2.11, 1-33, 2015.

Wan, Z., 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD). Version 3.3, National Aeronautics and Space US Department of Commerce, Washington DC.

Anexos

Tabela A1. Resumo dos produtos CGLS usados para avaliar o estado da superfície florestal.

Produto	Descrição	Unidades	Sensor/satélite	Resolução temporal	Resolução espacial
DMP	Produtividade de matéria seca (DMP: Dry Matter Productivity)	ton/ha/dia	PROBA-V	10 dias	300 m
SWI	Índice de água no solo (SWI: Soil Water Index)	% de saturação	Sentinel-1 C-SAR and Metop ASCAT	Diário	1000 m
VCI	Índice de condição da vegetação (VCI: Vegetation Condition Index)	%	PROBA-V	10 dias	1000 m
VPI	Índice de produtividade da vegetação (VPI: Vegetation Productivity Index)	adimensional	PROBA-V	10 dias	1000 m
LST	Temperatura da Superfície (LST: Land Surface Temperature)	Kelvin	Aqua-MODIS	8 dias	1000 m