

## DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ALTERAÇÕES DE COBERTO VEGETAL EM ÁREAS DE INTERFACE URBANO-RURAL

Barbosa, Bruno

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, [bruno.barbosa@edu.ulisboa.pt](mailto:bruno.barbosa@edu.ulisboa.pt);

Costa, Hugo

Direção Geral do Território, [hcosta@dgterritorio.pt](mailto:hcosta@dgterritorio.pt)

Rocha, Jorge;

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, [jorge.rocha@campus.ul.pt](mailto:jorge.rocha@campus.ul.pt)

Caetano, Mário

Direção Geral do Território, [mario.caetano@dgterritorio.pt](mailto:mario.caetano@dgterritorio.pt)

**RESUMO:** Para fazer face aos incêndios florestais o SDFCI estabelece faixas de gestão de combustíveis como forma de auxiliar o combate e mitigação deste problema. O objetivo do trabalho foi elaborar um modelo capaz de identificar a remoção da vegetação nestas faixas através da análise do NDVI em séries temporais de imagens Sentinel 2. O modelo busca diferenças estatisticamente significantes, através do Welch t-test, nas informações contidas nas imagens. O modelo foi aplicado no concelho de Figueiró dos Vinhos e os resultados mostraram-se promissores na identificação de áreas onde não foi feita a gestão, ou seja, áreas de infração a legislação.

**PALAVRAS CHAVE:** Sentinel 2, Séries temporais, NDVI, Alteração de Vegetação, Gestão de Combustível.

Colóquio ibérico, Salamanca, Mês de julho, Universidade de Salamanca, Portugal, Espanha.

**ABSTRACT:** To deal with forest fires, the SDFCI establishes fuel management bands as a way to help combat and mitigate this problem. The objective of the study was to develop a model capable of identifying the removal of vegetation in these areas by analysing the NDVI in time series of Sentinel 2 images. The model seeks statistically significant differences, through the Welch t-test, in the information contained in the images. The model was applied in the municipality of Figueiró dos Vinhos and the results were promising in identifying areas where management was not carried out, i.e., areas of infringement of legislation.

**KEYWORDS:** Sentinel 2, Time Series, NDVI, Vegetation Change, Fuel Management..

## 1. Introdução

Em Portugal, os incêndios florestais, são considerados pela proteção civil (ProCiv) como uma das catástrofes naturais mais graves devido a elevada frequência e extensão que podem abranger. Além disso estão relacionados com perdas econômicas, ambientais e constituem um perigo para a população e bens materiais.

No intuito de mitigar e reduzir o problema com incêndios o Decreto-Lei nº124/2006, de 28 de junho, implementou o Sistema de Defesa da Floresta contra Incêndios (SDFCI). Que define as redes de faixas de gestão de combustível, parcelas situadas em locais estratégicos para a remoção total ou parcial da biomassa, visando reduzir os efeitos de incêndios e proteger as vias de comunicação, infraestruturas e povoamentos florestais, assim como isolar potenciais focos de ignição.

De acordo com artigo 15º da referida legislação os aglomerados populacionais inseridos ou confinantes por florestas devem apresentar uma largura mínima de 100 metros de faixa de gestão. Neste sentido o objetivo deste trabalho é elaborar um modelo capaz de identificar a remoção da vegetação no entorno das áreas urbanas através do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Os métodos utilizados para o mapeamento de alteração da superfície baseados em imagens de satélite podem ser divididos em duas categorias (i) detecção da alteração de imagem para imagem; e (ii) detecção de alteração baseada em série temporal (Hirschmugl et al., 2017).

Aqui focamos apenas na série temporal, que utiliza dados adquiridos em muitas datas de observação (Coppin et al., 2004) Estas análises empregam a variação do sinal espectral ao longo de um determinado período para criação de métricas que auxiliam no monitoramento de um determinado local (Hostert et al., 2015). São utilizados os padrões temporais dos índices espectrais para determinar qualitativamente e quantitativamente as alterações que possam existir (Banskota et al., 2014).

Modelos como o LandTrendr (Kennedy et al., 2010) e o Vegetation Change Tracker (VCT) (Huang et al., 2010) são baseados em séries temporais e são muito utilizados para a detecção

de alterações na vegetação. Entretanto, Zhu (2017) ressalta que muitos trabalhos envolvendo series temporais não utilizam a informação espacial local para detectar alterações. Entre as abordagens que levam em consideração esta informação podemos citar os trabalhos de Hamunyela et al., (2016), Campagnolo et al., (2019) e Aubard et al., (2020).

## 2. Métodos

Este item indica quais foram os dados utilizados para a construção do modelo e também a linha metodológica seguida para gerar a análise.

As imagens do satélite Sentinel-2 utilizadas neste trabalho foram pré processadas e disponibilizadas pela Direção Geral do Território (DGT) foram disponibilizadas imagens correspondentes ao NDVI obtidos de imagens com cobertura de nuvens inferior a 60% e datam entre 01/10/2019 e 30/12/2020.

A revisão bibliográfica apontou o NDVI como um dos índices mais utilizados em diversas pesquisas. Na literatura consultada a maior parte dos trabalhos adotou o NDVI, seja como índice principal de análise (Hamunyela et al., 2016; Kolecka et al., 2018; Spadoni et al., 2020), ou para a comparação com outros índices (Aubard et al., 2020; Hislop et al., 2018). Por conta disso optamos pela adoção deste índice neste trabalho.

A carta de uso e ocupação do solo utilizada aqui é a COSsim disponibilizada pela DGT e tem como referência o ano de 2018. Esta carta apresenta formato matricial e possui a resolução espectral de 10 metros. Em seu nível mais detalhado apresenta 13 classes, as quais foram classificadas em ‘combustível’ e ‘não combustível’, que não foram utilizadas no modelo, nomeadamente: território artificializado, agricultura, vegetação herbácea espontânea, sobreiro e azinheira, superfície sem vegetação, zonas húmidas e água. A preferência por não utilizar a categoria Sobreiro e Azinheira como material combustível deu-se pelo fato de que o relatório de áreas ardidas (ICNF, 2015) apresenta que o total de área ardida neste tipo de ocupação do solo é pequena quando comparada as demais.

O modelo foi aplicado no município de Figueiró dos Vinhos e a delimitação da área de estudo foi feita a partir de um *buffer* de 100 metros das áreas edificadas<sup>1</sup>.

O método de análise utilizado é adaptado do modelo desenvolvido por Campagnolo *et al.*, (2019) e baseia-se na busca de diferenças estatisticamente significantes entre séries temporais

---

<sup>1</sup> Disponibilizada pela DGT e corresponde as áreas edificadas de todo o Portugal continental. <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/4cb8ce5d-3231-4d42-bbac-b2447e936104> (último acesso em 01/06/2021).

utilizando uma janela móvel em cada pixel. É um modelo semiautomático que não utiliza dados de treinamento, pois são incorporados dados da vizinhança da área de estudo.

Em cada imagem disponível são verificados: (i) o valor do NDVI em cada pixel localizado dentro da área de estudo; (ii) o valor da média do NDVI dos pixels vizinhos com 500 metros distância, localizados fora da área de estudo e em um mesmo uso do solo; e (iii) a diferença entre estes valores.

Em cada data da série temporal é aplicado o *Welch t-test*. Os conjuntos analisados permitem o mínimo de duas imagens e o máximo de oito, num período máximo de 60 dias. A identificação de uma alteração é dada quando o *t-test* aponta a diferença significativa para o valor do 'pixel (i)' e para o valor da 'diferença (iii)' e não para a 'média (ii)' em uma mesma data.

Para evitar que uma alteração seja registrada por mais de uma vez identificamos a alteração somente na primeira data em que ocorre uma diferença significativa. O modelo utilizou o valor de significância limite de:  $p\text{-Value} \leq 0,0005$ .

Para a validação geramos uma matriz de confusão de 2 x 2 utilizando como referência uma base de dados disponibilizada pela Guarda Nacional Republicana (GNR). Esta base de dados apresenta a localização dos pontos de fiscalização da gestão das faixas de combustível. A informação contida nestes dados é sobre o cumprimento ou incumprimento da gestão. Foram selecionadas como métricas de precisão: acurácia geral, precisão, recall, F1-Score e o intervalo de confiança destes valores.

### 3. Resultados e discussão

Foram identificadas alterações em 309,58 hectares ou o equivalente a 26,72% da área combustível total. O mapa apresentado na (Figura 1) mostra as alterações e não alterações detectadas

A matriz gerada a partir do modelo com o limite do *p-Value* estabelecido em 0,0005 é apresentada na tabela 1. Do total de 125 pontos, em 4 deles o modelo e a base de dados indicaram a existência de alteração na vegetação, por outro lado, em 99 pontos o modelo e o banco de dados concordaram que não houve nenhuma alteração.

A acurácia geral do modelo foi de 82,40% com intervalo de confiança de 2,30%. Neste cenário os melhores resultados foram verificados na detecção de não alteração, todos eles próximos a 90%. A precisão do modelo em detectar não alteração foi de 92,52% com

intervalo de confiança de 1,59%, enquanto para detectar alterações foi de 22,22% com intervalo de confiança de 2,51%. O *recall* das não alterações foi de 87,61% com intervalo de confiança de 1,99% e para as alterações foi de 33,33% com intervalo de confiança de 2,84%. O *F1-Score* das não alterações foi de 90,00% com intervalo de confiança de 1,81%, enquanto para as alterações foi de 26,67% com intervalo de confiança de 2,67%.

Consideramos como boa a acurácia geral obtida pelo modelo, 82,40% e nos permite, com cautela, comparar com a de outros algoritmos de detecção de alterações na vegetação. Algoritmos como o *LandTrendr* (Kennedy et al., 2010) ou o *vegetation change tracker* (VCT) (Huang et al., 2010) apresentaram acurácias gerais semelhantes, para o *LandTrendr* os autores reportaram acurácias acima de 85%, enquanto para o VCT foram obtidas acurácias superiores a 75%.

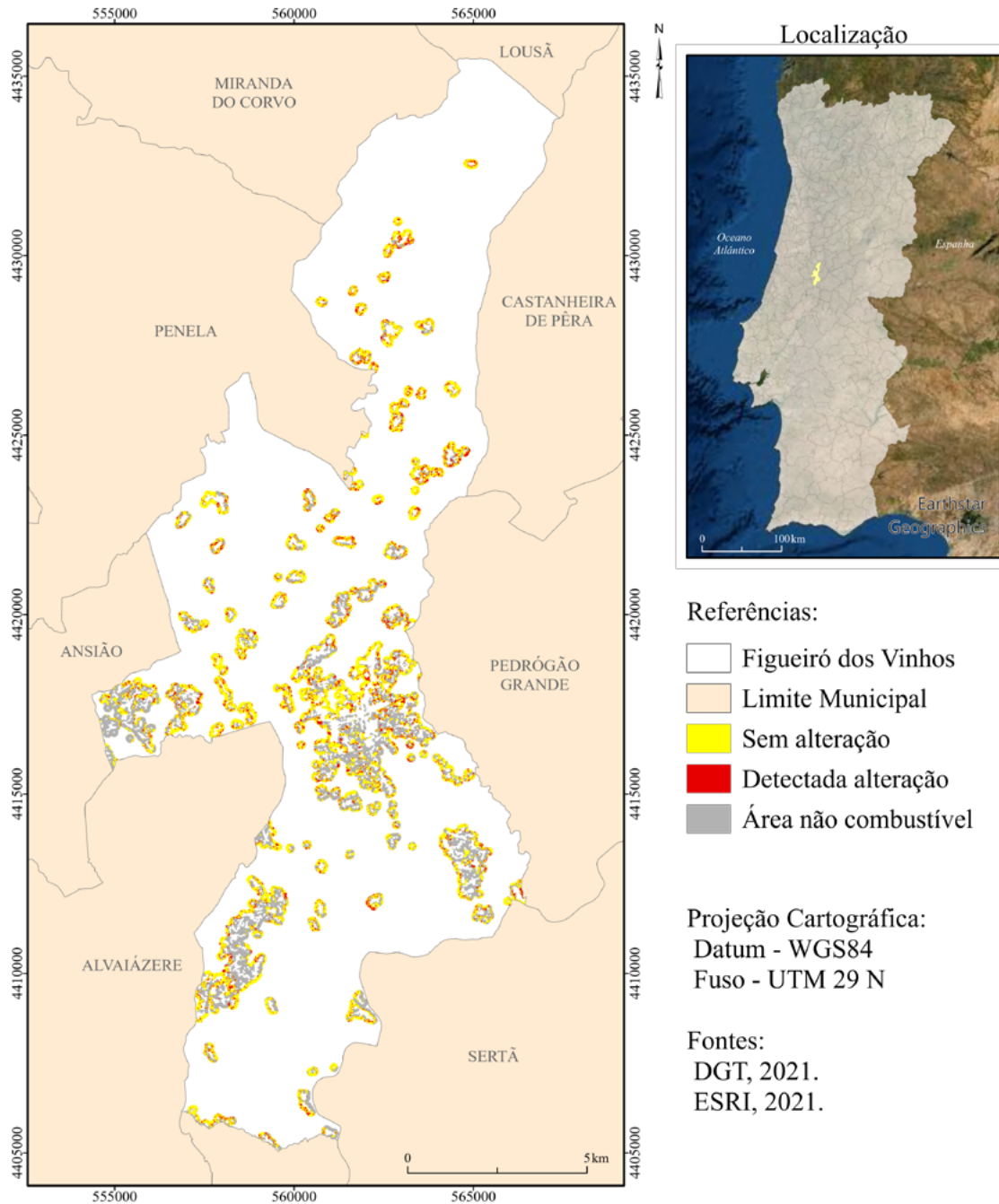
Os valores relativamente baixos associados as métricas de precisão, *recall* e *F1-Score* obtidos no modelo estão associados ao pequeno número de eventos verdadeiros positivos encontrados. Isto tem relação com os eventos falsos positivos e falsos negativos.

Os falsos positivos estão associados a: (i) a limpeza da vegetação ter sido realizada após a visita de campo e autuação realizada pela GNR; (ii) serem encontradas diferenças estatisticamente significativas que não estejam relacionadas a remoção da vegetação. Isto pode decorrer da reflectância natural da vegetação que não é constante ao longo do ano. Spadoni *et al.*, (2020) e Pereira-Pires *et al.*, (2020) apresentam que há um decaimento natural no valor do NDVI em algumas tipologias de vegetação no período entre janeiro e setembro o que pode ser identificado como alteração, apesar da janela temporal de 60 dias minimizar os efeitos da sazonalidade.

Os falsos negativos estão associados a algumas características da forma como deve ser feita a gestão de combustível, descrita no Anexo da DL nº124/2016, que podem não ser captadas pelo satélite Sentinel 2. A remoção dos galhos próximos ao solo e a limpeza dos sub-bosques podem não interferir de maneira significativa do dossel, isso indica que a variação do NDVI pode ser pequena para ser detectada pelo modelo.

No estrato subarbustivo, Kolecka et al., (2018), indicam rápida regeneração do NDVI em grama recém cortada o que pode passar despercebidos no modelo. Estas alterações sutis aos satélites são mais facilmente identificadas em visitas de campo, desta forma um fiscal pode aquilatar dos ‘cumprimentos’ de gestão de combustível que passam despercebidos ao modelo.

Figura 1. Detecção de alteração



Fonte: elaboração própria

Tabela 1. Validação dos dados

	Métricas Estatísticas		Matriz		
	(A)	(NA)	(A)	(A)	(NA)
Precisão	22,22% ± 2,51%*	92,52% ± 1,59%*	(A)	4	14

<i>Recall</i>	33,33% ± 2,84%*	87,61% ± 1,99%*			
<i>F1-Score</i>	26,67% ± 2,67%*	90,00% ± 1,81%*	(NA)	8	99
<i>Overall</i>	82,40% ± 2,30%*				
* Intervalo de confiança; A - Alteração; NA - Não Alteração					

Fonte: elaboração própria

#### 4. Conclusão

O trabalho mostrou-se satisfatório para o cumprimento dos objetivos almejados. A acurácia geral do modelo obtida, 82,40%, foi semelhante a encontrada na literatura consultada (Huang et al., 2010; Kennedy et al., 2010).

O modelo elaborado apresenta potencial para ser utilizado em escala nacional, uma vez que foi possível identificar áreas onde ocorreram intervenções nas faixas de gestão de combustível, mas sobretudo as áreas onde não ocorreram interferência na vegetação, o que indica que este modelo pode ser utilizado para identificar as áreas que necessitam de gestão.

Verificou-se a eficácia do NDVI para identificar alterações nas faixas de gestão de combustível. Outras vantagens de utilizar o Sentinel 2 para este tipo de análise: (i) a alta disponibilidade de imagens e (ii) serem gratuitas.

Concluído este trabalho verifica-se que a abordagem sobre este tema está longe de ser encerrada, porém acreditamos que o modelo aqui proposto tem potencial para aprimorar as discussões nesta temática. O conhecimento aplicado no desenvolvimento deste modelo pode ser utilizado como base para novas abordagens e auxiliar na procura de alterações na vegetação.

#### 5. Bibliografia

- Aubard, V., Pereira-Pires, J. E., Campagnolo, M. L., Pereira, J. M. C., Mora, A., & Silva, J. M. N. (2020). Fully Automated Countrywide Monitoring of Fuel Break Maintenance Operations. *Remote Sensing*, 12(18), 2879. <https://doi.org/10.3390/rs12182879>
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M. J., Wulder, M. A., Froese, R. E., & White, J. C. (2014). Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(5), 362–384. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>
- Campagnolo, M. L., Oom, D., Padilla, M., & Pereira, J. M. C. (2019). A patch-based algorithm for global and daily burned area mapping. *Remote Sensing of Environment*, 232(January), 111288. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111288>
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital change

- detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- Hamunyela, E., Verbesselt, J., & Herold, M. (2016). Using spatial context to improve early detection of deforestation from Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 172, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.006>
- Hirschmugl, M., Gallaun, H., Dees, M., Datta, P., Deutscher, J., Koutsias, N., & Schardt, M. (2017). Methods for Mapping Forest Disturbance and Degradation from Optical Earth Observation Data: a Review. *Current Forestry Reports*, 3(1), 32–45. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0047-2>
- Hislop, S., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A., Haywood, A., & Nguyen, T. H. (2018). Using landsat spectral indices in time-series to assess wildfire disturbance and recovery. *Remote Sensing*, 10(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs10030460>
- Hostert, P., Griffith, P., Linden, S., & Pflugmache, D. (2015). Time Series Analyses in a New Era of Optical Satellite Data. In *Remote Sensing Time Series Revealing Land Surface Dynamics* (pp. 25–41). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6_2)
- Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., & Vogelmann, J. E. (2010). An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.017>
- ICNF. (2015). *Áreas ardidas por tipo de ocupação do solo (1996-2014)*. <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/estat/area-ardida-1996-a-2014>
- Kennedy, R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897–2910. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>
- Kolecka, N., Ginzler, C., Pazur, R., Price, B., & Verburg, P. H. (2018). *Regional Scale Mapping of Grassland Mowing Frequency with Sentinel-2 Time Series*. <https://doi.org/10.3390/rs10081221>
- Pereira-pires, J. E., Aubard, V., Ribeiro, R. A., Fonseca, J. M., Silva, M. N., & Mora, A. (2020). *Semi-Automatic Methodology for Fire Break Maintenance Operations Detection with Sentinel-2 Imagery and Artificial Neural Network*.



- 
- Spadoni, G. L., Cavalli, A., Congedo, L., & Munafo, M. (2020). *Remote Sensing Applications : Society and Environment Analysis of Normalized Difference Vegetation Index ( NDVI ) multi-temporal series for the production of forest cartography*. 20(June).  
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100419>
- Zhu, Z. (2017). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Change detection using landsat time series : A review of frequencies , preprocessing , algorithms , and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 370–384.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>