

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

Barbosa, Bruno ^{1*}; Costa, Hugo ²; Rocha, Jorge ³; Caetano, Mário ⁴

1 Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, bruno.barbosa@edu.ulisboa.pt

2 Direção Geral do Território, hcosta@dgterritorio.pt

3 Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, jorge.rocha@campus.ul.pt

4 Direção Geral do Território, mario.caetano@dgterritorio.pt

*Autor correspondente: bruno.misson@gmail.com; Tel.: +351210442938

Resumo: Para fazer face aos incêndios florestais o Sistema de Defesa da Floresta contra Incêndios 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 o controlo da biomassa nestas faixas através da análise do NDVI em séries temporais de imagens Sentinel 2. O modelo busca diferenças estatisticamente significativas, 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 à legislação.

Palavras-chave: Sentinel 2, Séries temporais, NDVI, Alteração na Vegetação, Gestão de Combustível.

Abstract: To deal with forest fires, the Forest Defense System Against Fire establishes fuel management buffers as a way to help combat and mitigate this problem. The objective of the study was to develop a model capable of identifying the fuel management 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 - Site da autoridade nacional de proteção civil: <http://www.prociv.pt>) como uma das catástrofes naturais mais graves devido à elevada frequência e extensão que podem abranger. Além disso, estão relacionados com perdas económicas, 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, áreas identificadas 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 os 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 que 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; Kolečka *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. No seu nível mais detalhado apresenta 13 classes, as quais foram classificadas em ‘combustível’ e ‘não combustível’, sendo que as incluídas nesta última classe 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 com 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 [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)].

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 utilizando uma janela móvel em cada pixel. É um modelo semiautomático que não utiliza dados de calibração, 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 2×2 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: capacidade 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 capacidade 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 capacidade 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 para a detecção de alterações estão associados ao pequeno número de eventos verdadeiros positivos encontrados. Isto tem relação com os eventos falsos positivos e falsos negativos. Há algumas explicações possíveis do porquê encontramos estes falsos eventos. Os falsos positivos estão associados a: (i) a limpeza da vegetação ter sido realizada após a visita de campo e autuação realizada pela GNR. Isto podemos atribuir as normas existentes nos itens 5, 6, 12 e 13 do Artigo 15º da DL nº124/2016, que dizem que no caso da gestão de combustível não seja feita até 30 de abril a câmara municipal poderá proceder com a gestão de combustível da área, e (ii) o modelo pode encontrar diferenças estatisticamente significativas que não estejam relacionadas a remoção da vegetação propriamente dita. Isto pode decorrer da reflectância natural da vegetação que não é constante e sofre variações ao longo do ano. Spadoni *et al.*, (2020) apresentaram a variação intra-anual do NDVI em coníferas, espécies de folhas largas e pastagens no norte, centro e sul da Itália, observa-se que o comportamento do sinal espectral foi semelhante ao apresentado por Pereira-Pires *et al.*, (2020) ao analisar a variação anual da vegetação na porção central de Portugal continental. A partir do exposto nos dois trabalhos verifica-se que há um decaimento natural no valor do NDVI em algumas tipologias de vegetação no período entre janeiro e setembro e este decaimento pode ser identificado como alteração, apesar da janela temporal de 60 dias tentar minimizar estes efeitos sazonais. Além disso, pequenos ruídos no sinal ou constantes observações com presença de nuvens podem interferir na predição do modelo.

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. No tocante a elementos arbóreos isolados, que possam estar próximos a edificações a resolução do satélite por si só limita a identificação precisa da árvore, o que torna difícil a tarefa de identificar este tipo de gestão de combustível utilizando o Sentinel 2. A remoção dos galhos próximos ao solo e a limpeza dos sub-bosques nos povoamentos florestais podem não interferir de maneira

significativa no dossel do fragmento de vegetação, isso indica que a variação do NDVI pode ser pequena para ser detectada pelo modelo. No estrato subarbustivo Kolečka *et al.*, (2018) apresentam que a diminuição do NDVI após o corte da grama alta é na ordem de 0,2, mas que recupera 0,1 no período entre 8 a 10 dias posterior ao corte. Por conta desta rápida recuperação do valor de NDVI os eventos de limpeza de terrenos contendo grama podem passar despercebidos por causa de (a) não estarem disponíveis imagens válidas, sem cobertura de nuvens, em datas próximas aos eventos remoção da vegetação e (b) a variação do NDVI no período próximo ao corte não interferir de forma significativa no conjunto analisado no *Welch t-test*. Estas alterações sutis ao satélite são mais fáceis de serem identificadas numa visita a campo, desta forma um fiscal da GNR pode identificar ‘cumprimentos’ de gestão de combustível que passam despercebidos nas imagens trabalhadas.

Outro fator que pode interferir no bom funcionamento do modelo é a temporalidade do uso do solo utilizado. A COSsim 2018 foi elaborada para o intervalo entre setembro de 2017 e outubro de 2018, o modelo proposto utilizou as imagens disponíveis de 2020, isso indica que algumas áreas mapeadas na COSsim já podem ter sofrido alterações. Com isso podemos estar aplicando o modelo para uma área que no mapeamento oficial era considerado combustível e hoje já não o é. O oposto também é verdadeiro.

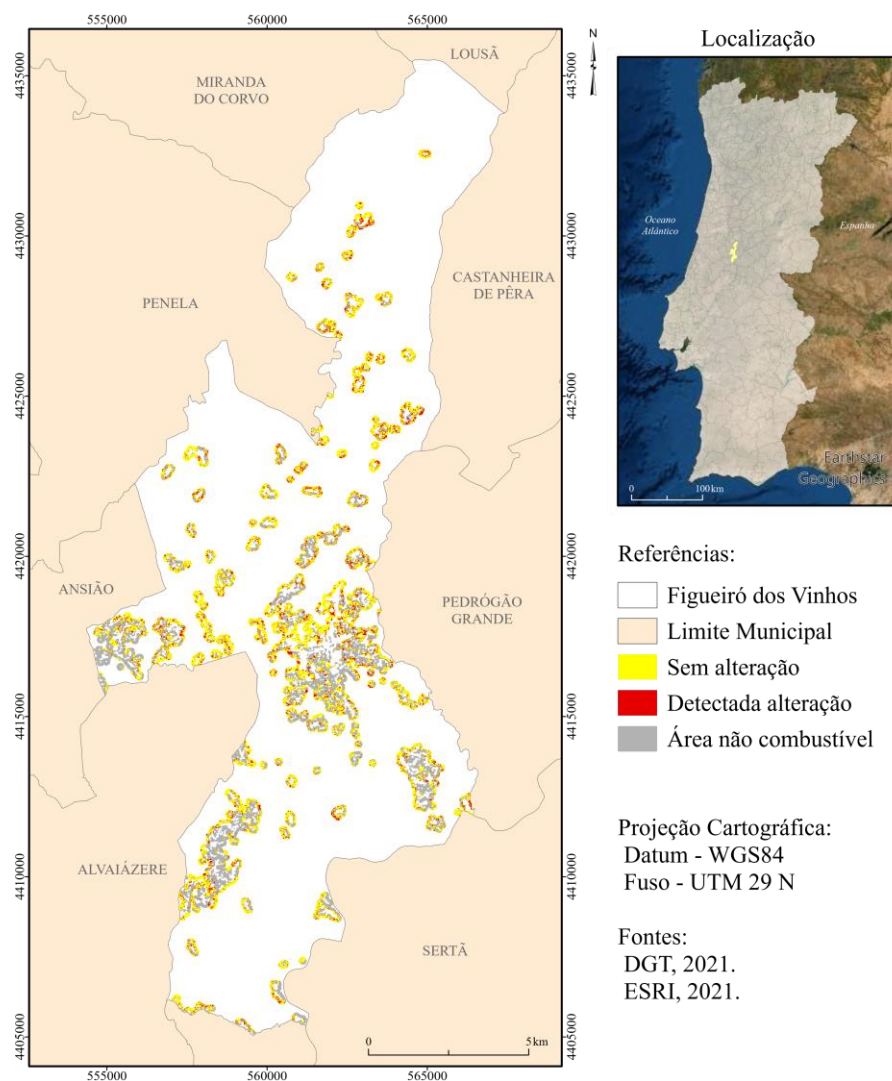


Figura 1 Detecção de alteração.

Tabela 1 - Validação dos dados.

	Métricas Estatísticas		Matriz		
	(A)	(NA)	(A)	(NA)	
Precisão	22,22% ± 2,51%*	92,52% ± 1,59%*	(A)	4	14
Recall	33,33% ± 2,84%*	87,61% ± 1,99%*			
F1-Score	26,67% ± 2,67%*	90,00% ± 1,81%*	(NA)	8	99
Overall	82,40% ± 2,30%*				

* Intervalo de confiança; A - Alteração; NA - Não Alteração

4. Conclusão

O trabalho mostrou-se satisfatório para o cumprimento dos objetivos almejados. capacidade geral do modelo obtida, 82,40%, foi semelhante à encontrada na literatura consultada (Huang *et al.*, 2010; Kennedy *et al.*, 2010). Entretanto, este elevado valor está relacionado principalmente com a alta capacidade do modelo em identificar áreas onde não houve alteração da vegetação, onde as métricas variaram entre 87,6% e 92,5%, para as áreas de alteração o modelo apresentou baixa capacidade preditiva, variando entre 22,2% e 33,3%. A qualidade dos dados disponíveis para a validação influenciou no resultado obtido, uma vez que apenas 12 dos 125 pontos indicavam cumprimento da gestão de combustível.

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 ocorreu gestão do combustível, 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.

De forma a melhorar a capacidade preditiva do modelo, em abordagens futuras, salientamos que podem ser adicionadas novas formas e fontes de dados para validação, além disso a perspectiva de a COSsim ser elaborada anualmente pode minimizar os efeitos da lacuna temporal. Outra possibilidade é a utilização imagens com maior resolução espacial que a do Sentinel 2, ou ainda incorporar dados provenientes de outras tecnologias, como veículos aéreos não tripulados (VANT), radar ou dados LiDar, para identificar detalhes que passam despercebidos para uma resolução espacial de 10 metros.

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 associadas a atividades de gestão de combustível.

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
- 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>