

Do espaço ao solo.

Deteção remota via satélite na gestão e monitorização do planeta.

Vítor Hugo Neves*, Giorgio Pace†, Sara Antunes+.#, Jesus Delegido§

*ICBAS | †DB/U.Minho|CBMA | +DB/FC/U.Porto | #CIIMAR | §DEPT/IPL/U.Valencia

CATEGORIA

Artigo

CITAÇÃO

Neves, V. et al. (2023)

Do espaço ao solo,

Rev. Ciência Elem., V11(04):044.

doi.org/10.24927/rce2023.044

EDITOR

João Nuno Tavares

Universidade do Porto

EDITOR CONVIDADO

Rute Coimbra

Universidade de Aveiro

RECEBIDO EM

15 de maio de 2023

ACEITE EM

23 de outubro de 2023

PUBLICADO EM

15 de dezembro de 2023

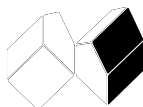
COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2023.

Este artigo é de acesso livre, distribuído sob licença Creative Commons com a designação

[CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite a utilização e a partilha para fins não comerciais, desde que citado o autor e a fonte original do artigo.

rce.casadasciencias.org



Atualmente estamos perante um desafio de mudanças climáticas significativas e preocupantes. Essas mudanças têm conduzido o planeta a uma série de efeitos ambientais, onde cidades costeiras sofrem com enchentes e inundações, enquanto outras regiões enfrentam secas severas e prolongadas. É assim importante tomar decisões e aplicar medidas para combater os efeitos que as atividades humanas têm promovido e agravado. Neste cenário, a informação e conhecimento científico tornam-se as ferramentas mais valiosas para que políticos, governos e cientistas possam agir o mais rapidamente e corretamente possível. Nesse contexto, a deteção remota (DR) via satélite ganha estatuto de instrumento essencial, devido à capacidade para monitorizar as mudanças climáticas e os seus efeitos em todo o mundo numa escala real. Por meio da captura de imagens de satélite, é possível obter informações precisas e quase em tempo real sobre os mais diversos parâmetros ambientais.

Satélites e a observação da terra.

A grande parte dos satélites que orbitam a Terra são usados para três finalidades: comunicação, navegação e observação da Terra. Como o nome indica, os satélites de comunicação são usados para transmitir informações de um ponto do planeta para outro, com a vantagem de conseguirem aceder a zonas mais remotas. Por sua vez, os satélites de navegação compõem sistemas, como o famoso *Global Positioning System* (GPS), que nos permitem saber sempre onde estamos localizados na Terra. E por fim, os satélites de observação da Terra que, atualmente, são ferramentas rotineiras e essenciais para apoiar a proteção do ambiente a nível global¹.

Por definição, Deteção Remota (DR) consiste na identificação de características da superfície terrestre e na estimativa das suas propriedades geo-biofísicas, utilizando a radiação eletromagnética como meio de interação². Por outras palavras, permite recolher dados à distância, da superfície da Terra, da atmosfera, da hidrosfera e de outros elementos posicionados na Terra. Para tal, são usados instrumentos instalados a bordo de satélites, aviões ou outros veículos (FIGURA 1) que usam sensores para captar a luz refletida pela Terra e os seus elementos. Posteriormente, esses dados são processados e analisados sob a forma de imagens.

O uso de satélites para a observação da Terra apresenta inúmeras vantagens comparativamente a outros métodos de DR, por exemplo o drone, mas sobretudo comparando com métodos convencionais de recolha de amostras e monitorização. Dentre as vantagens, destacam-se³:

- Cobertura global e sinóptica: capacidade de observar qualquer zona do nosso planeta, através de uma visão geral e sumariada.
- Possibilidade de observações repetidas: capacidade de observar a mesma área repetidamente, permitindo avaliar mudanças temporais.
- Possibilidade de observações multi-escala: capacidade de observar a diferentes escalas (desde local a global).

- Observação na zona não-visível do espectro: capacidade de observar e registrar informação na zona do infravermelho e/ou ultravioleta.
- Transmissão imediata dos dados adquiridos: os dados recolhidos podem ser transmitidos imediatamente para posterior análise, permitindo uma resposta mais rápida a eventos ou mudanças observadas.

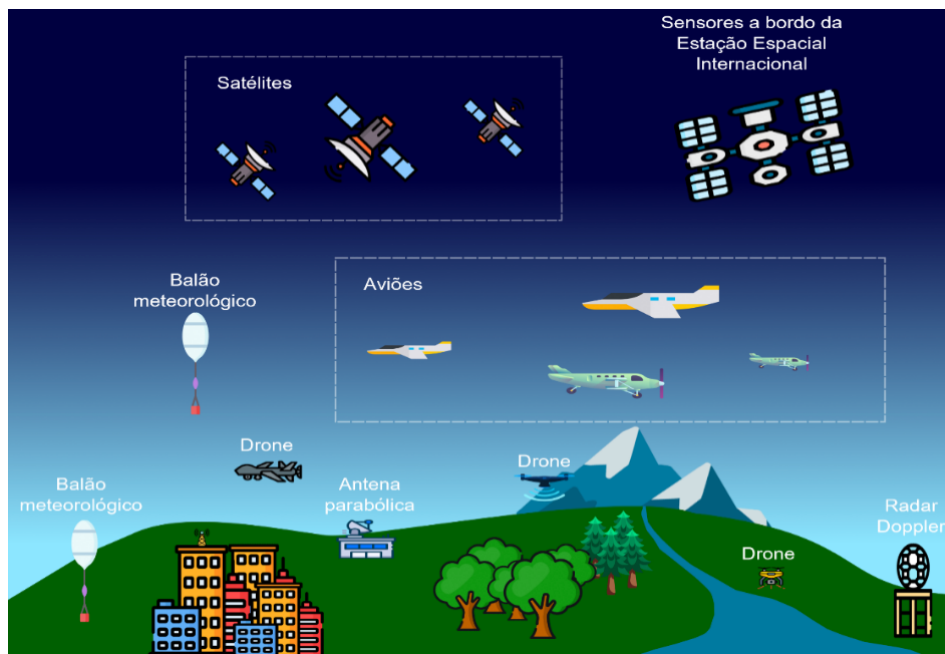


FIGURA 1. Instrumentos utilizados para detecção remota espacial, aérea e baseada no solo.

Programas e missões espaciais.

Os satélites de observação da Terra têm sido lançados por várias nações e organizações ao longo dos anos, com objetivos específicos de ajudar a conhecer a superfície da Terra. Desde o lançamento do primeiro satélite, o Sputnik 1, em 1957, as missões espaciais tornaram-se uma componente essencial da exploração e observação do nosso planeta. No ano de 1972, iniciaram-se as missões *Landsat*, pertencentes ao programa com o mesmo nome, gerido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *United States Geological Survey* (USGS), agências dos Estados Unidos da América. O primeiro satélite, *Landsat-1*, inicialmente denominado *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), tinha como função principal observar a Terra. O *Landsat-1* tornou-se pioneiro no uso de plataformas espaciais para a aquisição sistemática de imagens da superfície terrestre⁴. Esta missão é considerada um marco científico, pois revelou a importância de possuir informações de imagens para monitorizar processos biosféricos, e demonstrou o seu valor na gestão ambiental ao acompanhar alterações sazonais e inter-anuais das condições de uso do solo, a nível global⁴. Estas ferramentas também permitem realizar análises de tendências em larga escala, ajudando a compreender efeitos de alterações climáticas e de atividades antrópicas na biosfera, uma vez que as primeiras observações de *Landsat* datam de 1972. O avanço tecnológico é visível atualmente através do *Landsat-9* (lançado a 27 de setembro de 2021) que possui uma resolução espacial de 30 metros, o que significa que pode fornecer imagens detalhadas da superfície terrestre, como estradas, rios, campos agrícolas e florestas.

Paralelamente ao Landsat, na Europa existe a *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), organização intergovernamental dedicada à operação de satélites meteorológicos que monitorizam o clima e o ambiente, em toda a Europa. As missões mais conhecidas da EUMETSAT pertencem à série Meteosat, com o primeiro satélite (*Meteosat-1*) lançado em 1977. Os satélites Meteosat captam imagens de alta resolução da Terra a cada 15 minutos, permitindo aos meteorologistas monitorizar tempestades, furacões, ondas de calor e outros fenómenos meteorológicos extremos, em toda a Europa e África⁵. Copernicus é um outro programa da *European Space Agency* (ESA) que inclui diversas missões, como as Sentinel, que utilizam tecnologias como radares e imagens multiespectrais para monitorizar a superfície terrestre, oceano e atmosfera. O objetivo principal deste programa é substituir missões de observação da Terra mais antigas e assegurar a continuidade dos dados de satélite, abrangendo as áreas de estudo da Atmosfera, Oceano e Terra⁶. O Sentinel-1 é um radar que monitoriza a terra e oceano durante 24 horas por dia⁶. Já o Sentinel-2 é um dos destaques atuais com uma resolução espacial de 10 metros, sendo utilizado para monitorizar a vegetação, o solo e áreas costeiras, bem como para avaliar a qualidade da água em águas interiores⁷. Os diversos satélites *Sentinel-3* centram-se na observação marinha, com ênfase no estudo da topografia da superfície da água, cor e temperatura do oceano⁶. As missões Sentinel-4, -5 e -5P monitorizam a qualidade do ar, e a missão Sentinel-6 está focada na medição do nível médio das águas do mar⁶.

Aplicações e casos de estudo.

GEO— *Group on Earth Observations* é uma parceria global de mais de 100 governos e organizações que procuram um futuro onde as decisões, em benefício da humanidade, sejam tomadas com base em observações terrestres coordenadas e sustentadas⁸. O GEO identificou várias áreas que beneficiam da existência de um sistema coordenado de observação do planeta, das quais se pode destacar: a melhor compreensão dos fatores ambientais que afetam a saúde e bem-estar humano; a avaliação da eficácia na gestão dos recursos naturais; a compreensão, avaliação, revisão, mitigação e adaptação à variabilidade climática; e a melhoria da informação meteorológica⁹.

Uma das áreas em que a análise por DR via satélite tem sido bastante utilizada, para apoio na gestão, é a agricultura. Um exemplo que pode ser observado regista-se na zona do baixo Mondego, onde ferramentas de DR foram utilizadas para avaliar as condições de cultivo do arroz¹⁰. Tradicionalmente, a irrigação do arroz é efetuada por inundações contínuas, uma prática que contribui para uma baixa eficiência de uso de água. No contexto climático atual onde se regista um aumento de pressão sobre os recursos hídricos, torna-se fundamental explorar métodos alternativos de irrigação. Para esse efeito é necessário aumentar o conhecimento sobre a dinâmica da água no cultivo de arroz. Neste caso de estudo, imagens de satélite foram utilizadas para calcular e comparar índices de vegetação (NDVI— Índice de Diferença Normalizada da Vegetação) e de água (NDWI— Índice de Diferença Normalizada da Água) (FIGURA 2). O NDVI é um índice espectral que está diretamente relacionado com a capacidade fotossintética das plantas onde valores moderados representam arbustos e prados, valores elevados correspondem a vegetação arbórea densa com elevado teor de clorofila¹¹. Valores negativos deste índice geralmente correspondem a nuvens, água e neve, os valores muito próximos do zero representam maiores áreas de rochas ou solo nu. No exemplo representado na FIGURA 2A), os terrenos retratados com verde mais escuro (por exemplo, 1-3 e 6-9) representam vegetação com maior valor de clorofila do que os terrenos mais claros (por exemplo, 4 e 10). O NDWI é

um índice espectral que foi inicialmente elaborado para delinear características de massas de água através da avaliação da turbidez, mitigando a refletância do solo e da cobertura vegetal¹⁰. Além disso, este índice apresenta uma forte relação com o conteúdo de água da planta, o que permite estimar o stress hídrico de uma plantação. O índice varia entre -1 e 1 onde valores negativos representam zonas onde não há água, e valores positivos representam zonas de água. Aplicando o índice à vegetação e analisando o exemplo da FIGURA 2B), quanto mais intenso for o azul maior o conteúdo de água dessa vegetação e menor o stress hídrico que enfrenta. Em geral, utilizar imagens de satélite para calcular estes índices é uma metodologia aplicada regularmente e a larga escala, que permite aos agricultores perceberem qual o estado de saúde da vegetação, estado de germinação, stress hídrico das plantas, entre outras aplicações¹⁰.

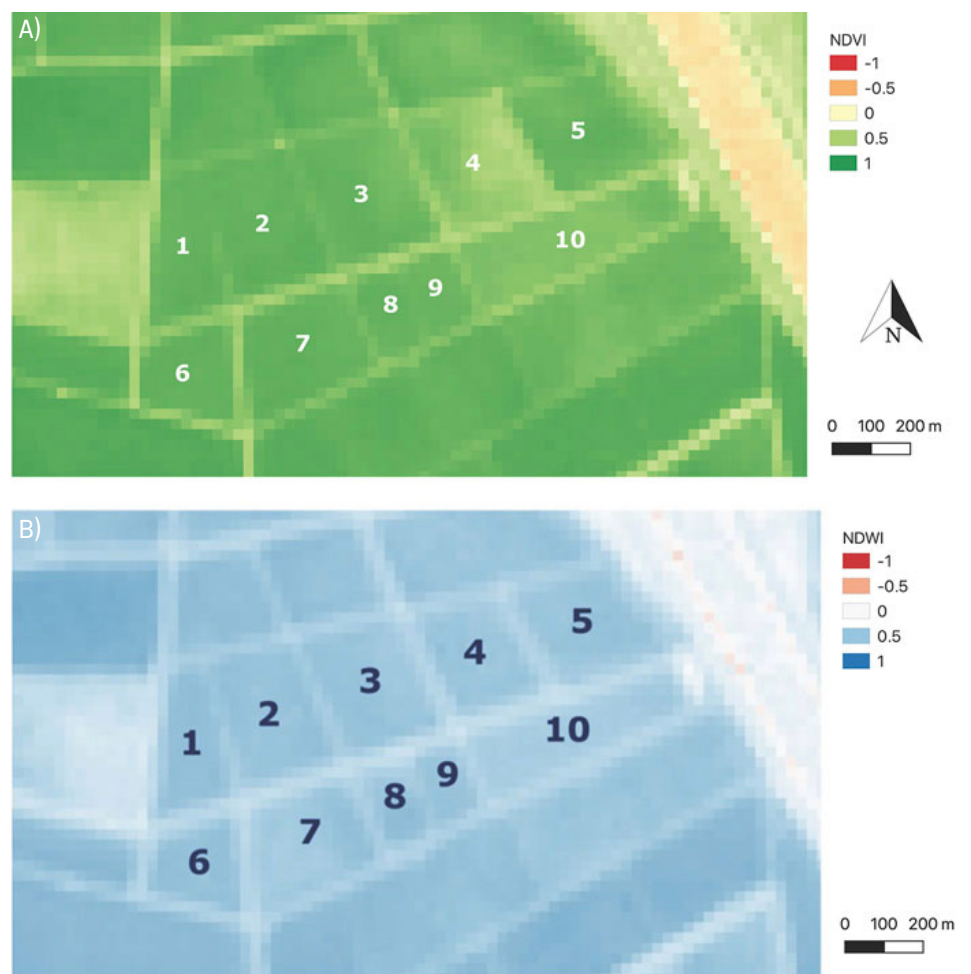


FIGURA 2. Representações dos índices. A) NDVI. B) NDWI. Para campos de arroz na zona do Baixo Mondego, em 8 de julho de 2020. Os dados são do satélite Sentinel-2A, a resolução espacial de 20 m¹⁰.

O aumento da pressão sobre os recursos hídricos é elevado e a seca é um fenómeno que resulta da variabilidade regional no ciclo global da água, associado aos padrões de circulação atmosférica¹². Tradicionalmente, a monitorização de períodos de seca é feita através de observações pontuais a partir da terra, e abordada numa perspetiva meteorológica e agrícola¹³. Contudo, esta metodologia enfrenta dificuldades relacionadas com a insuficiência de instrumentos— como estações climáticas— que providenciem observações consistentes a longo prazo¹³. As ferramentas de DR via satélite permitem estudar variáveis associadas à seca como a precipitação, humidade

do solo e evapotranspiração, e também quantificar os impactos da seca à escala de ecossistemas^{13,14}. Assim, um dos índices de avaliação de seca mais utilizado é o *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) que se baseia no conceito do balanço da água tendo em conta dados da precipitação, temperatura do ar e água disponível no solo provenientes de ferramentas de DR. Este índice permite identificar a ocorrência de períodos de seca classificando-os em termos de intensidade (fraca, moderada, severa e extrema)¹⁵. A FIGURA 3 representa os valores desse índice em agosto de 2022, em Portugal, onde se pode observar que foi um período de seca severa em todo o país.

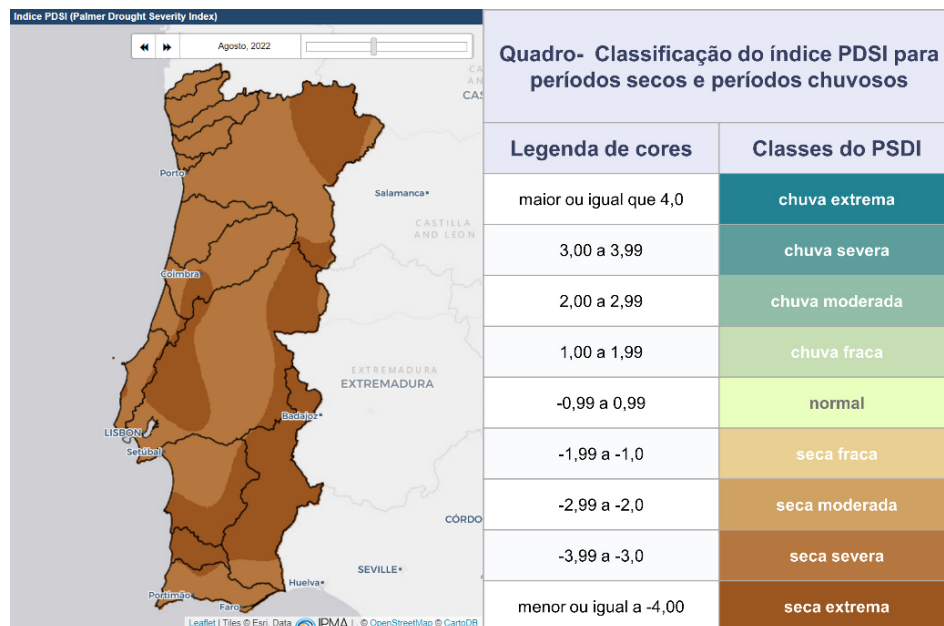


FIGURA 3. Índice PDSI em Portugal, Agosto de 2022¹⁵.

Para além da utilidade na gestão da terra, a aplicação de satélites de observação da Terra é igualmente vantajosa na gestão da água. Um outro exemplo em que as ferramentas de DR via satélite têm sido aplicadas é na monitorização do armazenamento de água e suas variações, uma vez que é importante compreender os processos hidrológicos locais⁹. Regra geral, medições de descargas fluviais são feitas através de medidores de fluxo instalados ao longo de corpos de água. Esta metodologia apresenta limitações como o reduzido número de medidores, a instalação destes é feita quase exclusivamente em cursos de água maiores e a dificuldade de obtenção de dados de descarga em rios transfronteiriços^{16,17}. A DR via satélite é capaz de contornar esses problemas e estimar descargas fluviais e o armazenamento de água^{16,18,19}, particularmente em albufeiras onde estas massas de água são responsáveis por controlar variações sazonais e anuais do fluxo de rios (FIGURA 4)^{16,20}. Estas ferramentas são úteis para breves análises visuais de imagens (ao comparar as imagens representadas na FIGURA 4 é possível constatar uma diminuição da área ocupada por água na albufeira do Rabagão), mas ganham ainda mais destaque em estudos onde a escala temporal e espacial é mais complexa e onde as variações não são tão evidentes. Através de DR via satélite é ainda possível estimar de forma precisa parâmetros como área de superfície da água (através de métodos de classificação que atribuem classes como água, solo e vegetação a cada pixel), nível da superfície da água (através de medições diretas por altímetros a bordo de satélites) e volume de água (através de uma combinação dos métodos anteriormente descritos)^{21,22,23}.

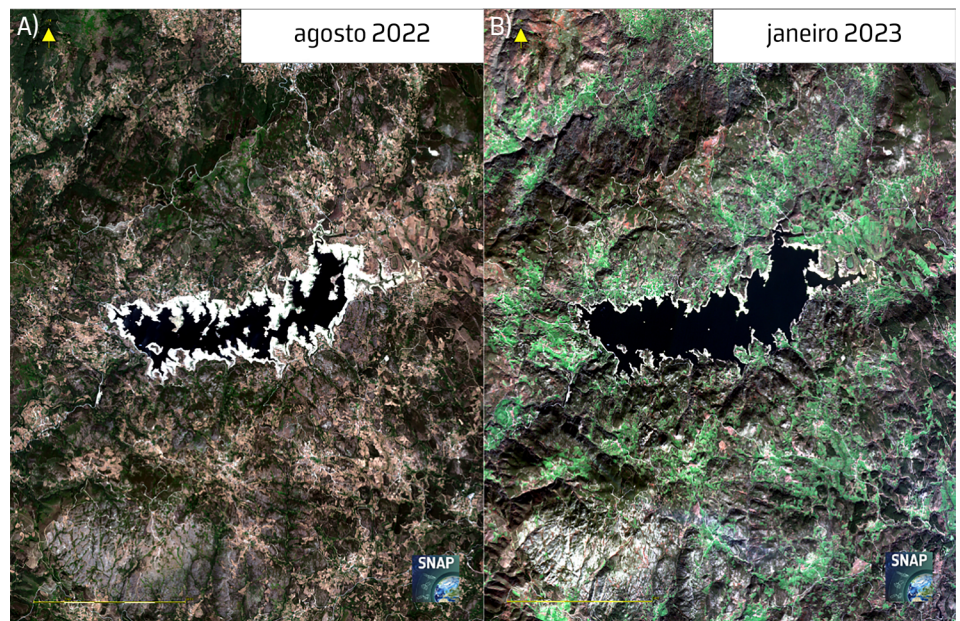


FIGURA 4. Albufeira do Alto Rabagão, Portugal. A) Agosto de 2022 – período de seca severa. B) Janeiro de 2023 – após um período de chuvas intensas. (Imagens capturadas pelos satélites Sentinel-2)

Além de serem úteis na identificação e registo de eventos hidroclimáticos extremos como as secas, os satélites de observação da Terra também permitem analisar os efeitos de desastres naturais e/ou antrópicos. A FIGURA 5 apresenta os efeitos na vegetação após o incêndio de Pedrogão Grande, em junho de 2017. Em situações de grandes incêndios, as imagens de satélite e os produtos derivados dessas imagens permitem analisar as áreas perturbadas e a intensidade de perturbação^{24,14}. Estas ferramentas podem ser utilizadas para comparar as condições antes e depois dos eventos de incêndios florestais bem como detetar mudanças nas respostas espectrais após o fogo, considerando a resposta da vegetação analisando o índice NDVI^{25,14}. Através de imagens de satélite é possível ainda determinar índices como o *Normalized Burn Ratio* (NBR), que usa uma escala de classificação entre valores de -1 e 1 para representar a magnitude de mudanças provocadas por incêndios – valores negativos representam área queimada, e valores positivos representam vegetação saudável (quanto mais próximo de 1, mais saudável a vegetação)^{26,14}.

Os satélites de observação da Terra permitem também avaliar diferenças na superfície da Terra, e essas mudanças têm sido registadas em grandes áreas, nomeadamente em aglomerados populacionais. Atualmente, grande parte da população mundial vive em áreas de desenvolvimento urbano contíguo, e este desenvolvimento está a causar mudanças à escala de paisagem no nosso planeta. Assim, os satélites de observação da Terra são mais uma vez uma ferramenta essencial capaz de analisar e monitorizar as mudanças urbanas e ainda prever padrões de mudança nas paisagens urbanas. Imagens de satélites como as que se observam na FIGURA 6 permitem observar as diferenças de ocupação do solo entre os concelhos de Bragança e do Porto de uma forma mais detalhada.

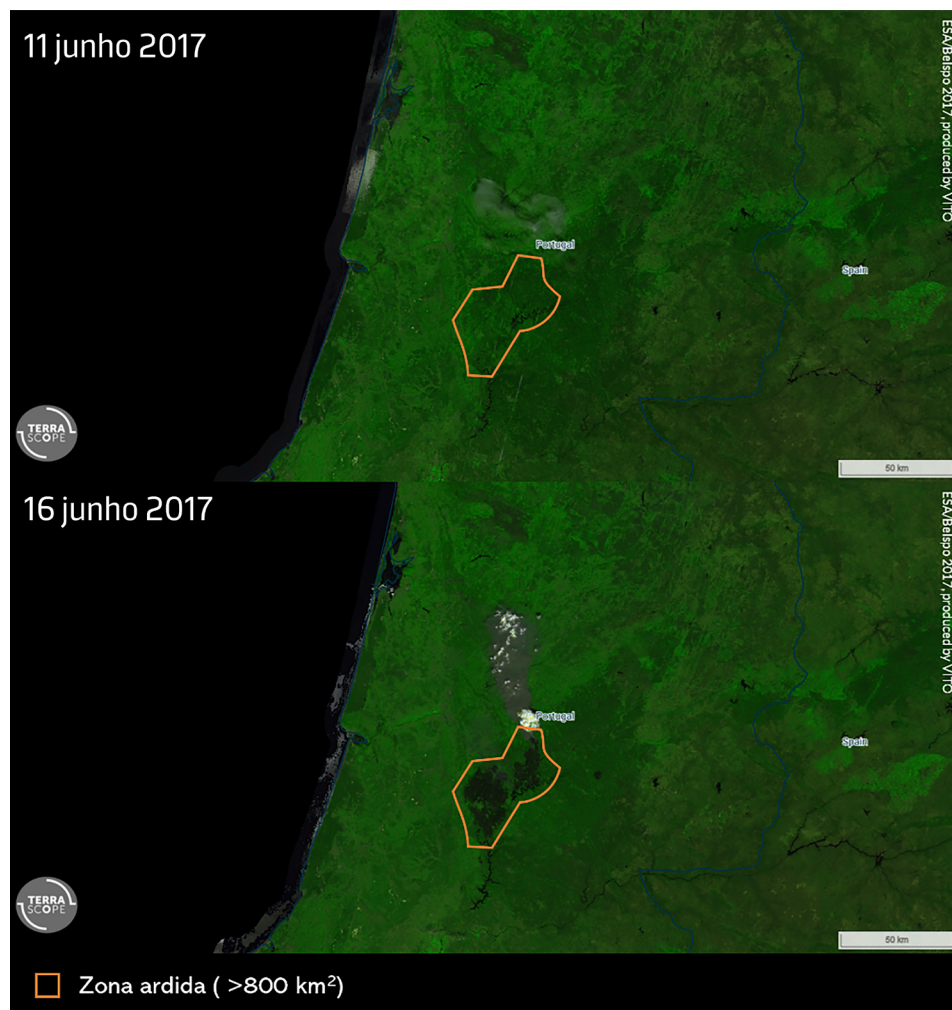


FIGURA 5. Zona de Pedrogão Grande antes (11 junho) e durante (16 junho) o incêndio de 2017. Imagens capturadas pelo minissatélite Proba-V da ESA²⁷.

Uma área onde os satélites e as ferramentas de DR via satélite também têm tido um papel importante é na gestão da qualidade do ar²⁹. Para criar políticas de controlo da poluição e tomar as decisões corretas atempadamente, é necessário medir e monitorizar a qualidade do ar a cada instante. Para tal existem diferentes categorias de sensores e sistemas de gestão de qualidade do ar, entre os quais se destacam os sensores baseados em plataformas de satélite²⁹. O uso de satélites de observação da Terra para auxiliar na monitorização e gestão da qualidade do ar são uma alternativa efetiva em termos de custo, tempo e precisão³⁰. Mais ainda, estas ferramentas de análise permitem uma melhor estimativa de poluentes como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de azoto, dióxido de carbono, metano, etc.^{30, 31, 29}.

Tendo em conta a informação apresentada reconhece-se que a DR via satélite é uma ferramenta importante na monitorização e gestão de recursos naturais e urbanos, com aplicações em diversas áreas. A grande vantagem transversal aos diferentes meios de aplicação desta ferramenta prende-se com a possibilidade de obter informação em escalas globais, regionais ou locais, sem a necessidade de acesso direto ao local de estudo, reduzindo consideravelmente os custos associados. A DR via satélite desempenha um papel crucial enquanto ferramenta complementar num sistema integrado para prevenção e gestão ambiental, que, atualmente, ainda não substituiu completamente as metodologias existentes. Contudo, a contribuição com

conhecimento em escala real que trouxe para as diversas áreas de aplicações permite ultrapassar algumas limitações das metodologias tradicionais, revelando que esta ferramenta pode contribuir significativamente para a antecipação de respostas mais eficazes.

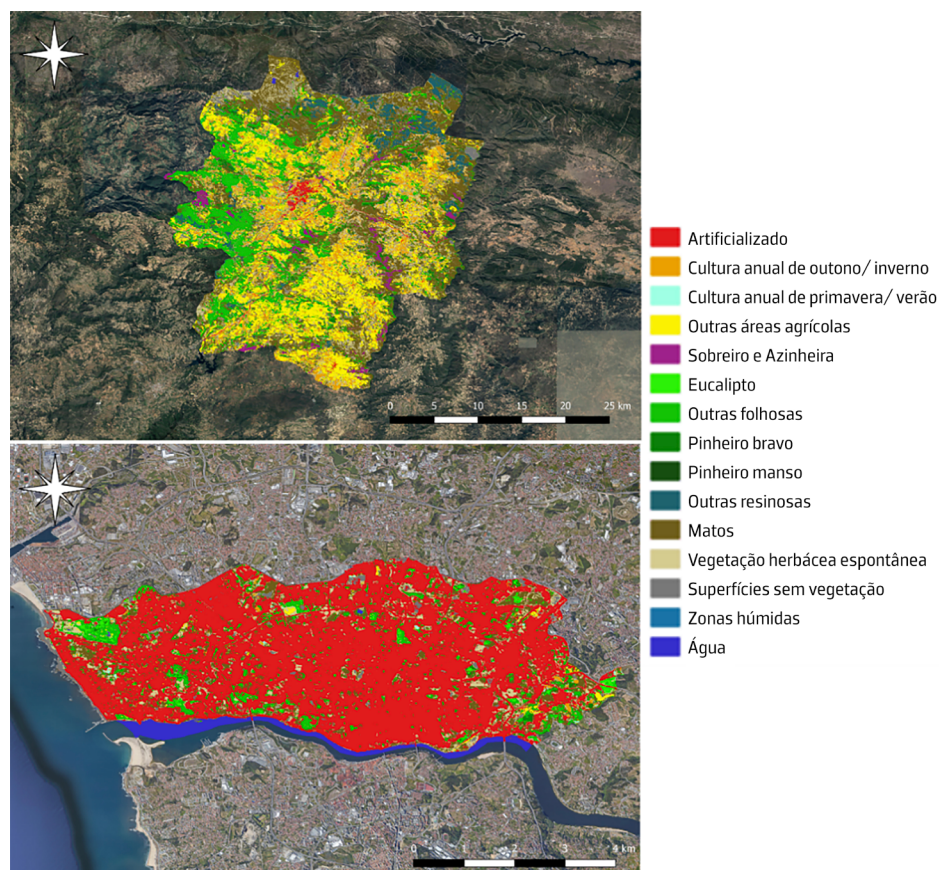


FIGURA 6. Ocupação do solo nos concelhos de Bragança (cima) e Porto (baixo), de acordo com a Carta de ocupação do Solo Conjuntural de 2022²⁰.

REFERÊNCIAS

- ¹ UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, *Space Solutions for the World's Problems (ST/SPACE/33)*, United Nations, 2006.
- ² ROY, P. S. et al., *Satellite Remote Sensing: Sensors, Applications and Techniques. Proceedings of the National Academy of Sciences India Section A - Physical Sciences*, Springer India, 465-472. 2017.
- ³ CHUVIECO, E., *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach*, Second Edition. 2016.
- ⁴ UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, *About Us - UNOOSA*, 2023.
- ⁵ EUROPEAN ORGANISATION FOR THE EXPLORATION OF METEOROLOGICAL SATELLITES, *Meteosat series*, 2023.
- ⁶ EUROPEAN SPACE AGENCY, *Sentinel Missions*.
- ⁷ NEVES, V. H., et al., *Chlorophyll and suspended solids estimation in portuguese reservoirs (Aguieira and alqueva) from sentinel-2 imagery*, *Water (Switzerland)*, 13. 2021.
- ⁸ GROUP ON EARTH OBSERVATIONS. *About Us*. 2023.
- ⁹ LIANG, S., et al., *Advanced remote sensing: Terrestrial information extraction and applications*, 2019.
- ¹⁰ DE LIMA, I. P., et al., *Remote Sensing Monitoring of Rice Fields: Towards Assessing Water Saving Irrigation Management Practices*, *Frontiers in Remote Sensing*, 2. 2021.
- ¹¹ NOVAGEO SOLUTIONS, *NDVI - Normalized Difference Vegetation Index*, 2021.
- ¹² GOLIAN, S., et al., *Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran*, *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 679-688. 2015.
- ¹³ AGHAKOUCHAK, A., et al., *Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities*, *Reviews of Geophysics*, 53, 452-480. 2015.
- ¹⁴ TEODORO, A. C., et al., *Nanotechnology-Based Smart Remote Sensing Networks for Disaster Prevention*, *Elsevier*, 978-0-323-91166-5. 2022.
- ¹⁵ INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, *Índice PDSI (Palmer Drought Severity Index)*, 2023.
- ¹⁶ CHAWLA, I., et al., *A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes*, *Journal of Hydrology*, 585, 124826. 2020.
- ¹⁷ TANG, Q., et al., *Remote sensing: hydrology*, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33, 490-509. 2009.

- ¹⁸ALSDORF, D., et al., *The need for global, satellite-based observations of terrestrial surface waters*, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 84, 269-276. 2003.
- ¹⁹ALSDORF, D. E., et al., *Tracking fresh water from space*, *Science*, 301, 1491-4. 2003.
- ²⁰GAO, H., et al., *Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing*, *Water Resources Research*, 48. 2012.
- ²¹DUAN, Z., et al., *Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data*, *Remote Sensing of Environment*, 134, 403-416. 2013.
- ²²REIS, S., et al., *Temporal monitoring of water level changes in Seyfe Lake using remote sensing*, *Hydrological Processes*, 22, 4448-4454. 2008.
- ²³SMITH, L. C., *Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review*, *Hydrological Processes*, 11, 1427-1439. 1997.
- ²⁴TEODORO, A., et al., *A Statistical and Spatial Analysis of Portuguese Forest Fires in Summer 2016 Considering Landsat 8 and Sentinel 2A Data*, *Environments*, 6. 2019.
- ²⁵SCHROEDER, W., et al., *Active fire detection using Landsat-8/OLI data*, *Remote Sensing of Environment*, 185, 210-220. 2016.
- ²⁶KEY, C. H., et al., *Remote sensing of severity: the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index, FIRE-MON: Fire effects monitoring and inventory system Ogden, Utah: USDA Forest Service, Rocky Mountain Res. Station. 2005.*
- ²⁷ESA/BELSP0, *TerraScope*. 2017.
- ²⁸SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, *Carta de Ocupação do Solo Conjuntural - 2022*. 2022.
- ²⁹SINGH, D., et al., *Sensors and systems for air quality assessment monitoring and management: A review*, *Journal of Environmental Management*, 289, 112510. 2021.
- ³⁰BRAUER, M., et al., *Examination of monitoring approaches for ambient air pollution: A case study for India*, *Atmospheric Environment*, 216, 116940. 2019.
- ³¹SCHNEISING, O., et al., *A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor*, *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 6771-6802. 2019.