



# MONITORIZAÇÃO DO VOLUME ARMazenADO EM ALBUFEIRAS UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE

Joaquim CONDEÇA<sup>1</sup>, João NASCIMENTO<sup>2</sup>, Nuno BARREIRAS<sup>3</sup>

1. Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, vasques.condeca@gmail.com
2. CERIS - Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, jnascimento@tecnico.ulisboa.pt
3. CERIS - Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, nuno.barreiras@tecnico.ulisboa.pt

## RESUMO

Cada vez mais é importante ter um conhecimento profundo não só das atuais disponibilidades hídricas, mas também perceber a evolução do volume de albufeiras ao longo dos anos, com o objetivo de definir padrões de comportamento. Todavia, as séries de dados necessários para monitorização do volume de água armazenado em albufeiras públicas não estão completas por vários motivos, sendo o mais comum as falhas pontuais de medição.

O aumento do número de satélites utilizados em deteção remota permite dispor de um elevado número de observações com elevada resolução temporal e espacial. A utilização dos denominados índices de água tem-se revelado uma metodologia eficaz na gestão, avaliação e monitorização dos recursos hídricos superficiais, não existindo metodologias precisas e automáticas que permitam o preenchimento das lacunas de dados em albufeiras a partir das imagens de satélite. O principal objectivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que envolva a utilização de deteção remota para a avaliação automática da variação do volume de água, recorrendo à plataforma Google Earth Engine (GEE).

A elaboração deste trabalho permitiu utilizar a plataforma GEE para comparar diferentes índices de delimitação de massas de água superficiais a partir de imagens de satélite Landsat:  $NDWI_{McFeeters}$ , proposto por McFeeters (1996),  $NDWI_{Gao}$ , proposto por Gao (1996) e  $MNDWI$  proposto por Xu (2006). O índice  $MNDWI$ , proposto por Xu (2006) é aquele melhor se adapta para delimitar massas de água superficiais, com coeficientes de correlação entre o volume real armazenado e o volume estimado situados entre 0,95 e 0,98 e com coeficientes de Nash-Stucliffe (N-S) entre 0,63 e 0,97.

Com a realização deste estudo pode-se concluir que proceder ao cálculo automático da área da superfície inundada das diferentes albufeiras, efectuado com recurso à plataforma GEE, é uma excelente e fiável metodologia, que permite determinar o respectivo volume armazenado e que pode ser utilizada e estendida a outras albufeiras.

**Palavras-Chave:** Deteção Remota; Google Earth Engine; Índices de água; Volume Armazenado.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do número de satélites utilizados em deteção remota permite dispor de um elevado número de observações com elevada resolução temporal e espacial. As principais barreiras à utilização de imagens obtidas por deteção remota estão relacionadas com a obtenção, tratamento, armazenamento e visualização das imagens de satélite. Por um lado, a maioria das organizações, instituições e empresas não estão equipadas com bases de dados adequadas, com armazenamento e poder de computação para tratar esta grande quantidade de imagens de satélite. Por outro lado, a utilização dos denominados índices de água tem-se revelado uma metodologia eficaz na gestão, avaliação e monitorização dos recursos hídricos superficiais, não existindo metodologias precisas e automáticas que permitam o preenchimento das lacunas de dados em albufeiras a partir das imagens de satélite.

O principal objectivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que envolva a utilização de deteção remota para a avaliação automática da variação do volume de água, recorrendo à plataforma Google Earth Engine (GEE). Para isso, pretende-se: 1) utilizar diferentes índices de determinação de água recorrendo a imagens de satélite Landsat; 2) utilizar a plataforma GEE para obtenção das imagens de satélite e respectivo tratamento; 3)



desenvolver esta análise em albufeiras piloto, localizadas na região do Alentejo (Alvito, Caia, Maranhão e Roxo); 4) calcular automaticamente a área destas albufeiras ao longo dos anos e, conseqüentemente, determinar o respectivo volume; e 5) avaliar a possibilidade de recorrer a esta metodologia para completar séries de dados de monitorização.

## **2. ENQUADRAMENTO**

A metodologia adoptada para aplicar a detecção remota à avaliação da evolução do volume de água armazenada em albufeiras consiste em: 1) Usar a plataforma GEE para seleccionar imagens do satélite Landsat correspondentes às colecções Landsat 4, 5 e 8, desde Janeiro de 1984 até Dezembro de 2019; 2) Calcular automaticamente a área da superfície inundada destas albufeiras, recorrendo à plataforma GEE e aplicando índices de água definidos na literatura; 3) Determinar o volume armazenado nas albufeiras ao longo desses anos, tendo por base os valores da área anteriormente calculados.

O rápido desenvolvimento da tecnologia de detecção remota nas últimas décadas permitiu que o mapeamento de corpos de água usando imagens de satélite se torne a principal aproximação para monitorizar as variações das massas de água. Isto permite a monitorização dos recursos hídricos a larga escala, particularmente em zonas remotas e de difícil acesso, ou onde haja a necessidade de preencher lacunas de informação de um modo expedito e automático. Neste momento, a plataforma GEE disponibiliza uma interface de programação de aplicações a qual oferece recursos computacionais e imagens de satélites, minimizando a necessidade de os utilizadores disporem de dados e recursos computacionais próprios.

### **2.1. A plataforma Google Earth Engine**

A plataforma GEE é uma aplicação que disponibiliza uma interface de programação de aplicações (API - Application Programming Interface) a qual oferece, através da internet, recursos computacionais, imagens de satélites, minimizando a necessidade de os utilizadores disporem de recursos computacionais próprios e dados. Com o GEE os dados podem ser adquiridos e manipulados numa plataforma de programação recorrendo a linguagem JavaScript e Python. Subjacente a esta plataforma está presente um editor de código (GEE Code Editor) e que constitui um ambiente integrado de desenvolvimento (IDE – Integrated Development Environment), a qual, recorrendo a uma API em JavaScript, permite o acesso directo e livre a todas as funcionalidades que o GEE disponibiliza (GEE, 2000). O front-end, de uso acessível e amigável, providencia um ambiente propício ao desenvolvimento de algoritmos. Em resultado, esta plataforma tem permitido a cientistas, investigadores, e à sociedade em geral, o tratamento massivo de informação para produzir mapas de tendências e quantificar recursos à superfície da terra, como nunca antes feito.

### **2.2. Pré-processamento de imagens**

Para este trabalho foram utilizadas 1148 imagens do satélite Landsat, designadamente as imagens da reflectância da superfície da terra, colecções Landsat 4 e 5 ETM (Enhanced Thematic Mapper) e Landsat 8 OLI (Operational Land Imager). As imagens consideradas têm 30 metros de resolução, foram recolhidas entre Janeiro de 1984 e Dezembro de 2019, e encontram-se disponíveis na plataforma GEE. A obtenção de imagens de boa qualidade é fundamental para calcular os pixels com água em cada imagem e assim produzir um mapa de variação da superfície das albufeiras para os anos em estudo. Um dos principais obstáculos é a presença de nuvens. Assim, aplicou-se um filtro, disponibilizado pela plataforma GEE, que permite seleccionar apenas imagens com cobertura total de nuvens inferior a uma dada percentagem. Uma vez que a região é caracterizada climaticamente por uma reduzida presença de nuvens, foi possível obter um número significativo de imagens com uma cobertura de nuvens inferior a 5%.

### **2.3. Cálculo dos índices de água**

Tal como já foi referido, o princípio para extrair qualquer tipo de cobertura superficial através de uma imagem óptica baseia-se na capacidade que um objeto tem em refletir energia radiante dentro de um determinado espectro. A capacidade de separar a água dos outros tipos de cobertura do solo tem vindo a ser considerada muito efetiva, e com aplicações nas mais variadas áreas, nomeadamente na avaliação e gestão de recursos hídricos. Os índices

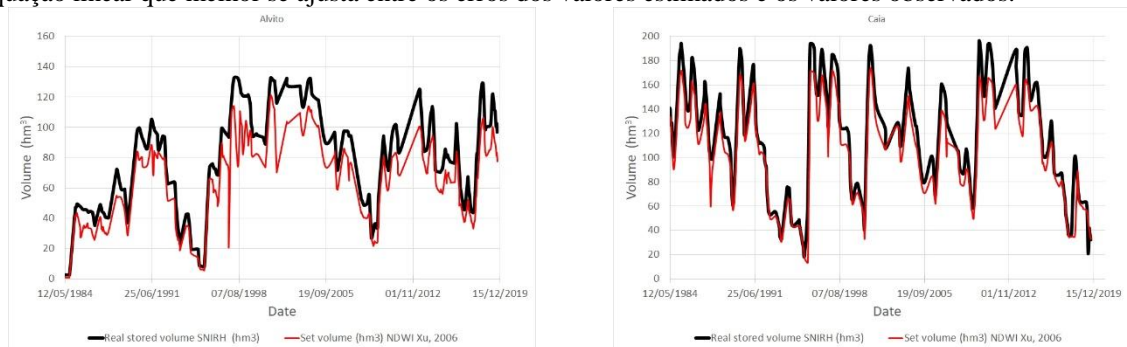
de água utilizados foram:  $NDWI_{McFeeters}$ , proposto por McFeeters (1996),  $NDWI_{Gao}$ , proposto por Gao (1996) e MNDWI proposto por Xu (2006).

#### 2.4. Delimitação e cálculo da área da superfície das albufeiras e determinação dos volumes armazenados

Recorrendo à plataforma GEE, desenvolveu-se um código *javascript* para criar a função usada para determinar o índice de água, a que se deu o nome de *waterfunction*. O procedimento desta função é: 1) percorrer cada imagem de satélite definida na variável *img* e aplicar o índice de água (*var ndwi*); 2) seleccionar os pixéis com valor igual ou superior a zero (*var waterThreshold*) existentes dentro do limite do NPA da albufeira (*.clip(albufeira)*); 3) calcular a área destes pixéis e criar um campo denominado *waterArea*, no qual armazena os valores de área (*var area*) calculada para cada imagem. Para determinação dos volumes armazenados é necessária informação de base que permita traçar as curvas que relacionam a área inundada com o volume armazenado. O Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), sob a tutela da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P (Agência Portuguesa do Ambiente, 2020) disponibiliza, informação de base que permite traçar as curvas que relacionam a área inundada com o volume armazenado e obter as respectivas equações. Desta feita, recorrendo às equações acima referidas, considerando o valor de área inundada o calculado através dos índices de água, determinou-se o volume armazenado nas albufeiras em estudo entre Janeiro de 1984 e Dezembro de 2019.

### 3. CONCLUSÕES

A elaboração deste trabalho permitiu utilizar a plataforma GEE para comparar diferentes índices de delimitação de massas de água superficiais a partir de imagens de satélite Landsat:  $NDWI_{McFeeters}$ , proposto por McFeeters (1996),  $NDWI_{Gao}$ , proposto por Gao (1996) e MNDWI proposto por Xu (2006). O índice NDWI proposto por Gao (1996), de acordo com este estudo, tem tendência para sobreavaliar as zonas de água apresentando dificuldades em distinguir estas áreas de zonas com vegetação luxuriante. Os gráficos de correlação entre o volume real armazenado e o volume calculado permitem concluir que o índice MNDWI, proposto por Xu (2006) é aquele melhor se comporta na delimitação da superfície das albufeiras e, conseqüentemente, no cálculo do volume armazenado, com coeficientes de correlação entre 0,95 e 0,98. O cálculo do coeficiente de Nash-Stucliffe (N-S) entre o volume real armazenado e o volume estimado, vem reforçar esta conclusão (coeficiente N-S entre 0,63 e 0,97). Na figura 2 apresenta-se a comparação entre o volume real armazenado nas albufeiras e o volume calculado recorrendo ao índice MNDWI, com a qual se constata que a curva do volume calculado apresenta um comportamento muito semelhante à do volume armazenado. O método de Gao (1996) é aquele cujos valores de volume estimados estão mais afastados dos reais, apresentando uma tendência para os sobreestimar. O índice MNDWI, proposto por Xu (2006), é aquele onde os valores de volume estão mais próximos dos valores reais, uma vez que apresenta uma menor dispersão dos erros dos valores estimados. Todavia, os erros dos valores calculados por este índice são na sua generalidade inferiores a zero, indicando uma clara tendência para os subestimar. O valor da subestimação aumenta com os valores de armazenamento mais altos. Nesse sentido, para minimização do erro poderá ser utilizado um factor de correcção que tem por base a equação linear que melhor se ajusta entre os erros dos valores estimados e os valores observados.



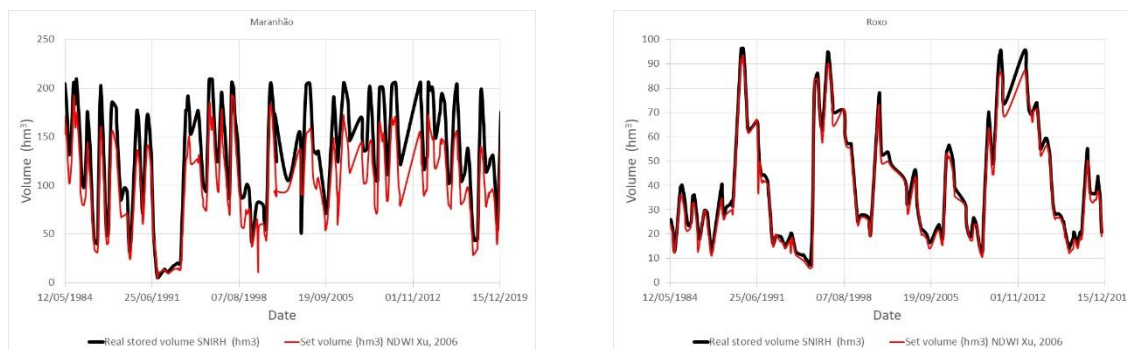


Figura 2 - Volume real armazenado vs volume calculado recorrendo ao índice proposto por Xu (2006).

Considera-se que a metodologia proposta neste trabalho para determinar o volume armazenado em albufeiras pode ser utilizada e estendida a outras albufeiras e as outras massas de água superficiais (lagos e lagoas costeiras) permitindo não só o preenchimento de lacunas nas séries de dados de monitorização mas também dar apoio ao cumprimento do disposto na DQA (2000), no que diz respeito à monitorização dos recursos hídricos superficiais.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (FCT), através do projecto PTDC/CTA-OHR/32360/2017 (DRONEWATER).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gao, B.C. (1996) NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58, 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

#### LEGISLAÇÃO

DQA, 2000. Directiva 2000/60/CE. *J. Of. das Comunidades Eur.* 1–72.

#### REFERÊNCIAS INTERNET

- Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., 2020. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em <https://snirh.apambiente.pt/>. Acesso em 12 de Janeiro de 2020
- GEE (2020). Google Earth Engine API Guide. Disponível em <https://developers.google.com/earth-engine>. Acesso em 10 de Setembro de 2020
- Mutanga, O., Kumar, L., 2019. Google earth engine applications. *Remote Sens.* Disponível em <https://doi.org/10.3390/rs11050591>. Acesso em 9 de Dezembro de 2019