

Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos

Fernanda P. Mota¹, Matheus G. Mateus², Marilton S. Aguiar¹, Diana F. Adamatti²

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – Pelotas, RS – Brasil

²Universidade Federal de Rio Grande (FURG) – Rio Grande, RS – Brasil

{nandapm2010,m2gonsalvez,dianaada}@gmail.com
marilton@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *Water resources and services play a crucial role in economic growth and environmental sustainability. Because of this, we need to improve hydrological data collection and analysis and the understanding of the physical processes of water. The main objective of this paper is to present the features of the Google Earth Engine platform (GEE), with the specific purposes of identifying and evaluating how the platform can help in the context of data analysis in water resources. GEE allows the integration of technologies present in geographic information systems, which makes it attractive for the development of applications in the scope of the environmental area and, more specifically, in this work, in the management of water resources, taking the hydrographic basin of Lagoa Mirim and São Gonçalo Canal as a case study. The resulting analysis of this study can assist the Watershed Management Committee in the analysis of the data from the Basins in the southern region of Brazil.*

Resumo. *Os recursos e serviços hídricos desempenham um papel crucial no crescimento econômico e na sustentabilidade ambiental. Devido a isso, precisamos melhorar a coleta de dados hidrológicos, sua análise e o entendimento dos processos físicos da água. Este artigo tem como objetivo principal apresentar as funcionalidades da plataforma Google Earth Engine (GEE), tendo como objetivos específicos identificar e avaliar como a plataforma pode auxiliar no contexto de análise de dados em recursos hídricos. O GEE propicia a integração das tecnologias presentes em sistemas de informação geográficas, o que a torna interessante para o desenvolvimento de aplicações no âmbito da área ambiental. Este trabalho tem como estudo de caso o gerenciamento de recursos hídricos da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. A análise resultante deste estudo pode auxiliar o Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas na análise de dados das Bacias na região sul do Brasil.*

1. Introdução

Os recursos e serviços hídricos desempenham um papel crítico no crescimento econômico e na sustentabilidade ambiental [Deng et al. 2019]. Como componentes essenciais dos recursos hídricos, os corpos d'água de superfície aberta, incluindo lagoas, rios, córregos e reservatórios fornecem uma série de serviços proporcionados pelo ecossistema, como abastecimento de água e alimentos e regulação climática [Kumar and Mutanga 2018]. No

entanto, de 1984 a 2015, os corpos d'água diminuíram quase 90 mil km^2 devido a mudanças no clima causadas principalmente por atividades humanas [Poortinga et al. 2018].

Modificações na dinâmica da água podem resultar em alterações nos ciclos de água [Wood et al. 2011]. Por isso, o monitoramento é extremamente importante, pois qualquer modificação pode alterar a qualidade e quantidade da água, a disponibilidade de água e os processos funcionais e físicos do ecossistema [Cann et al. 2013, Dang et al. 2016]. Logo, é importante ter um método de mapeamento preciso da superfície da água para melhorar o gerenciamento da água em larga escala.

Antes da era do sensoriamento remoto, o levantamento no solo era o único método disponível. Esse método tradicional era caro, demorado e os resultados nem sempre eram precisos. Em contrapartida, o sensoriamento remoto fornece uma técnica espacial e temporal capaz de rastrear um registro histórico, que é útil para monitorar as informações da água em áreas que não possuem um programa de monitoramento em terra. Houve grandes esforços para monitorar a dinâmica da superfície da água por sensoriamento remoto, como: i) [McCullough et al. 2013] analisaram as imagens do satélite MODIS com resolução de 250 metros para monitoramento remoto de lagos no Maine nos Estados Unidos no período de 2000 a 2011; ii) [Feyisa et al. 2014] desenvolveram o AWEI (acrônimo de *Automated Water Extraction Index*) para melhoria da precisão da extração de água na presença de vários tipos de ruído ambiental; e, iii) [Fisher et al. 2016] propuseram métodos de índice de água baseados em dados normalizados para refletância da superfície, usando limiares otimizados para classificação automatizada de água em grandes regiões.

O sensoriamento remoto também foi aplicado para ajudar na avaliação e gerenciamento da qualidade da água, risco de inundação e identificação de danos, bem como alterações nos recursos hídricos superficiais [Dang et al. 2018]. Essa técnica pode atuar como um recurso essencial para os decisores políticos e de decisão nas escalas local, regional e nacional [Nguyen et al. 2019]. Além disso, o sensoriamento remoto fornece uma plataforma conveniente para monitorar as alterações espaço-temporais dos corpos d'água de superfície aberta, usando uma variedade de fontes de dados, como imagens do espectrômetro de imagem com resolução moderada (MODIS – do inglês, *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) [Khandelwal et al. 2017, Li et al. 2018, Lu et al. 2017], imagens Landsat [Nguyen et al. 2019, Che et al. 2019, Tulbure and Broich 2019] e imagens do Sentinel [Hardy et al. 2019, Schwatke et al. 2019]. No entanto, estudos tradicionais em corpos d'água de superfície aberta geralmente usam menos imagens durante um período especificado para uma região de grande escala, pois é difícil processar grandes quantidades de imagens de sensoriamento remoto [Wang et al. 2018].

A plataforma baseada em nuvem chamada *Google Earth Engine* (GEE)¹ foi desenvolvida para facilitar a análise em larga escala de dados geoespaciais [Mutanga and Kumar 2019]. Até agora, o GEE tem sido amplamente utilizado em aplicações em larga escala, incluindo mapeamento de terrenos urbanos [Liu et al. 2018], arroz em casca [Dong et al. 2016], zonas úmidas [Hird et al. 2017] e, também, corpos d'água de superfície aberta [Pekel et al. 2016, Zou et al. 2018]. Por exemplo, em [Pekel et al. 2016] realizou-se o mapeamento de massas de água de superfície aberta a longo prazo em todo o mundo de 1984 a 2015, com base na plataforma GEE.

¹<https://code.earthengine.google.com/>

O principal objetivo deste trabalho é apresentar as funcionalidades da plataforma GEE tendo, mais especificamente, como objetivo identificar e avaliar como a plataforma pode auxiliar no contexto de análise de dados em recursos hídricos. Neste trabalho será apresentado um estudo de caso no qual foi avaliada a disponibilidade de dados e informações disponibilizada pela GEE. O artigo está organizado como segue. Na Seção 2 é descrita a plataforma GEE. A Seção 3 descreve a metodologia para construção do estudo de caso voltado para recursos hídricos. Na Seção 3.1 são descritos os resultados e as discussões. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* é uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem que pode acessar e analisar com eficiência numerosas fontes (petabytes de dados) de dados geoespaciais (como imagens de sensoriamento remoto Landsat e MODIS, entre outros) a partir de servidores do Google em um período de tempo menor e em computadores que não tem um grande processamento [Gorelick et al. 2017]. Um exemplo da interface do GEE pode ser visualizado na Figura 1.

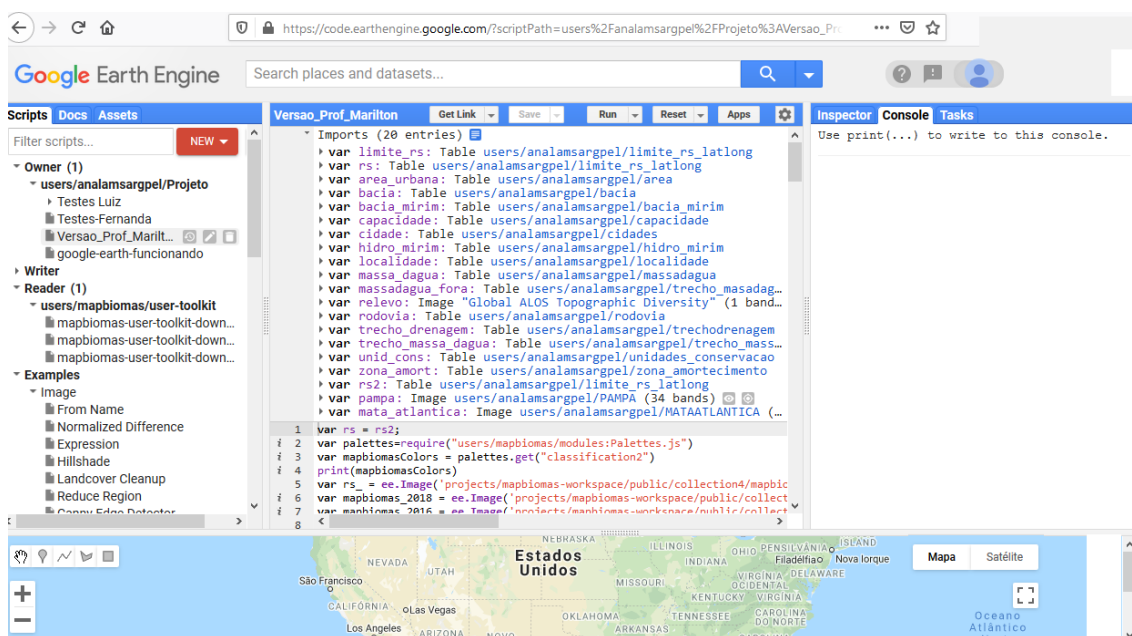


Figura 1. Um exemplo na plataforma GEE

O GEE utiliza um sistema de processamento paralelo para realizar o cálculo em um grande número de máquinas. Para habilitar esse processamento, o GEE tira proveito das técnicas padrão comumente usadas por linguagens funcionais, como transparência referencial e avaliação lenta, para ganhos significativos de otimização e eficiência [Gorelick et al. 2017].

Após a disponibilidade gratuita da série Landsat em 2008, o Google arquivou todos os conjuntos de dados e os vinculou ao mecanismo de computação em nuvem, para uso em código aberto. O arquivo atual de dados inclui os dados de outros satélites, bem como conjuntos de dados vetoriais baseados em sistemas de informações geográficas (GIS – do inglês, *Geographic Information System*), modelos sociais, demográficos, climáticos, de elevação digital e camadas de dados climáticos [Gorelick et al. 2017].

Existem várias maneiras de interagir com a plataforma GEE. A linguagem de programação utilizada nesta ferramenta é o JavaScript, que permite o desenvolvimento de aplicações na forma de aplicativos *mobile* e jogos integradas com métodos de aprendizagem de máquina. Esta plataforma é composta pelos seguintes módulos [Gorelick et al. 2017, Kumar and Mutanga 2019]: i) *Code Editor* é uma IDE para escrever e executar *scripts*; ii) *Explorer* é um aplicativo para explorar o catálogo de dados do GEE e executar análises simples; e, iii) bibliotecas cliente em Python e JavaScript para auxiliar os usuários no desenvolvimento de seus protótipos.

O *front-end* de fácil acesso fornece um ambiente adequado para o desenvolvimento interativo entre dados e algoritmos. Os usuários podem adicionar e selecionar seus próprios dados e coleções, enquanto usam os recursos de nuvem do Google para realizar todo o processamento. O GEE permite que cientistas, pesquisadores independentes e entusiastas explorem esse enorme banco de dados para detecção de mudanças, mapeamento de tendências e quantificação de recursos na superfície da Terra. A plataforma GEE não necessita de grande poder de processamento ou software muito complexo, o que permite a pesquisadores com poucos recursos, em países de terceiro mundo por exemplo, possam ter a mesma capacidade de realizar análises que países desenvolvidos [Kumar and Mutanga 2019].

No trabalho de [Sidhu et al. 2018] avaliaram-se as manipulações de varredura e vetor em imagens do Landsat, espectrômetro de imagens com resolução moderada e imagens GlobCover na plataforma de sensoriamento remoto GEE. Em seu estado atual, o GEE provou ser uma ferramenta poderosa, fornecendo acesso a uma ampla variedade de imagens em um sistema consolidado. Os autores analisaram, como caso de uso, o uso e a cobertura da terra de Cingapura no GEE.

Os trabalhos de [Shami and Ghorbani 2019] e de [Hakdaoui et al. 2020] investigaram e avaliaram a complementaridade dos dados do Landsat, Sentinel-2 e do Sentinel-1 em um ambiente no deserto de Imlili Sebkh (Marrocos). Os autores destacam a potencial aplicação do GEE no processamento de grandes quantidades de dados de satélite para observação de cavidades de água salgada permanentes, úmidas/secas, espaciais-temporais, livres e de longo prazo, além do monitoramento de umidade de Imlili Sebkh. Os resultados mostram que as imagens de radar não são apenas adequadas para o estudo de áreas desérticas, mas também para mapear as cavidades de água nas zonas úmidas do deserto. A sensibilidade dessas imagens e as variações na inclinação da superfície topográfica facilitou as análises geológicas e geomorfológicas das zonas desérticas e ajudou a revelar as funções hidrológicas de Imlili Sebkh na descoberta de redes subterrâneas.

Em [Tsai et al. 2018] desenvolveram-se técnicas de classificação de imagens de satélite que possam mapear a cobertura florestal e o uso da terra, minimizando os problemas de nuvem e fornecendo a base para o monitoramento a longo prazo da Reserva Natural Nacional de Fanjingshan, China. Os resultados da avaliação de precisão indicam que uma classificação geral consistente e eficaz pode ser alcançada por meio do Índice de Vegetação Padronizado (SVI – do inglês, *Standardized Vegetation Index*) multitemporais com normalização da iluminação simples e dados auxiliares de elevação, apesar dos dados limitados de treinamento.

Na pesquisa apresentada em [Ou et al. 2020], geraram-se mapas de estufa mul-

titemporais a partir de imagens Landsat e do GEE da região de preservação natural de Shouguang, China no período de 1990 a 2018. Além disso, avaliaram e quantificaram a dinâmica espaço-temporal o aumento agricultura nesta área de estudo. Os resultados demonstraram a vantagem de utilizar imagens do Landsat e o GEE para monitorar o desenvolvimento de estufas em um período de longo prazo e forneceram uma perspectiva mais intuitiva para entender o processo dessa abordagem especial de produção agrícola do que os estudos relevantes das ciências sociais.

[Xia et al. 2019] investigaram as mudanças climáticas nas águas superficiais da bacia do rio Huai, China, que apresentaram impactos significativos nas plantas agrícolas, no equilíbrio ecológico e no desenvolvimento socioeconômico. Para entender as mudanças nesta região, os autores utilizaram cenas disponíveis do Landsat TM, ETM+ (do inglês, *Enhanced Thematic Mapper Plus*) e do OLI (do inglês, *Operational Land Imager*) no período de 1989 a 2017 e processou os dados na plataforma GEE. Segundo os autores, compreender as variações nas áreas de corpos d'água e os fatores de controle pode apoiar a designação e implementação de práticas sustentáveis de gerenciamento de água nos usos agrícola, industrial e doméstico.

No trabalho de [Shami and Ghorbani 2019] investigou-se o armazenamento de água superficial e subterrânea na região do Irã que tem clima quente e árido. Os autores analisaram o armazenamento de água a partir dos dados do satélite GRACE (do inglês, *Gravity Recovery and Climate Experiment*) e a precipitação anual total por meio do CHIRPS (do inglês, *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*) no GEE no período de 2003 a 2017. Os resultados obtidos indicam uma redução nos níveis de armazenamento de água no período entre 2008 e 2017. Além disso, os dados de precipitação anual mostram que a quantidade de chuva desde o ano de 2008 diminuiu nesta região.

3. Estudo de Caso

Neste trabalho, desenvolveu-se uma aplicação-piloto na plataforma GEE, a partir da base de dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul, no âmbito do Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas/RS.

Foram utilizados dados da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo relacionados à área urbana, à capacidade da Lagoa Mirim, às cidades próximas à Lagoa Mirim no Brasil e no Uruguai, as ramificações da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo e adjacências e áreas de preservação ao redor da Bacia, bem como dados relacionados a precipitação no Rio Grande do Sul. O modelo hidrográfico, neste caso, é composto por 37 regiões com características distintas.

Na Figura 2 pode-se observar o menu para análise do uso do solo no Rio Grande do Sul. Neste menu podemos observar, em um determinado período de tempo definido pelo usuário, os diferentes tipos de solo como: floresta, floresta plantada, área úmida não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpos d'água.

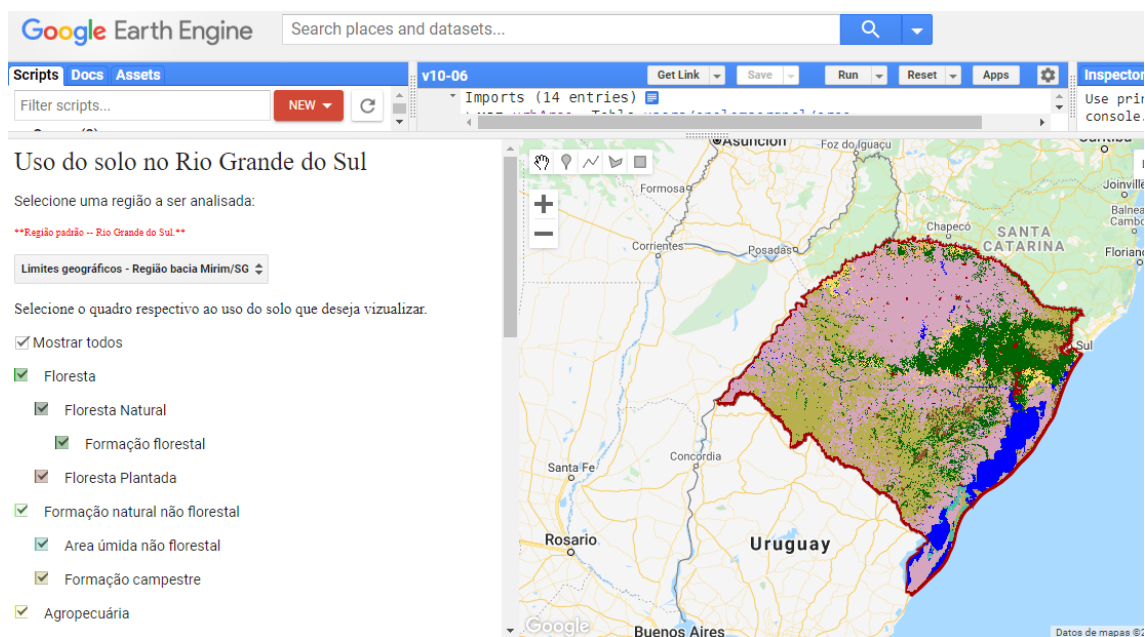


Figura 2. Representação do uso do solo no GEE.

Além disso, o modelo permite a investigação comparativa do crescimento/decaimento dos tipos de solo na região em um determinado período. A observação do solo pode ser feita de duas formas: i) área definida, está relacionada aos corpos d'água, área urbana na região da Bacia, área de conservação, área total da Bacia, área territorial da Bacia no Uruguai e no Brasil, capacidade do uso do solo, massa d'água externa à Bacia (Lagoa dos Patos), massa d'água na Bacia (rios, riachos), rodovias, escoamento dos corpos d'água e perímetro ao redor das áreas de conservação na Bacia; e, ii) raio de consulta, região específica, determinada pelo usuário (em quilômetros), na qual o indivíduo deseja saber informações específicas (círculo vermelho na Figura 3).

Na Figura 2 podemos observar no modelo o índice de precipitação de duas formas em um determinado período de tempo definido pelo usuário: i) área definida, está relacionada aos corpos d'água, área urbana na região da Bacia, área de conservação, área total da Bacia, área territorial da Bacia no Uruguai e no Brasil, capacidade do uso do solo, massa d'água externa à Bacia (Lagoa dos Patos), massa d'água na Bacia (rios, riachos), rodovias, escoamento dos corpos d'água e perímetro ao redor das áreas de conservação na Bacia; e, ii) raio de consulta, região específica, determinada pelo usuário (em quilômetros), na qual o indivíduo deseja saber informações específicas (círculo vermelho na Figura 3). A partir desta informação, são gerados gráficos relacionados à precipitação na região, por exemplo, no mês de janeiro/2019 como apresentado na Figura 4.

3.1. Discussões

Este estudo encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo assim, torna-se pertinente o estudo de ferramentas que possam ser utilizadas para avaliar a área de recursos hídricos e que possibilitem a integração de dados georreferenciados na ferramenta GEE.

O GEE separa os itens em diferentes camadas o que permite trabalhar de modo rápido e simples com cada camada. Deste modo, cada região ou rio pode ser considerado

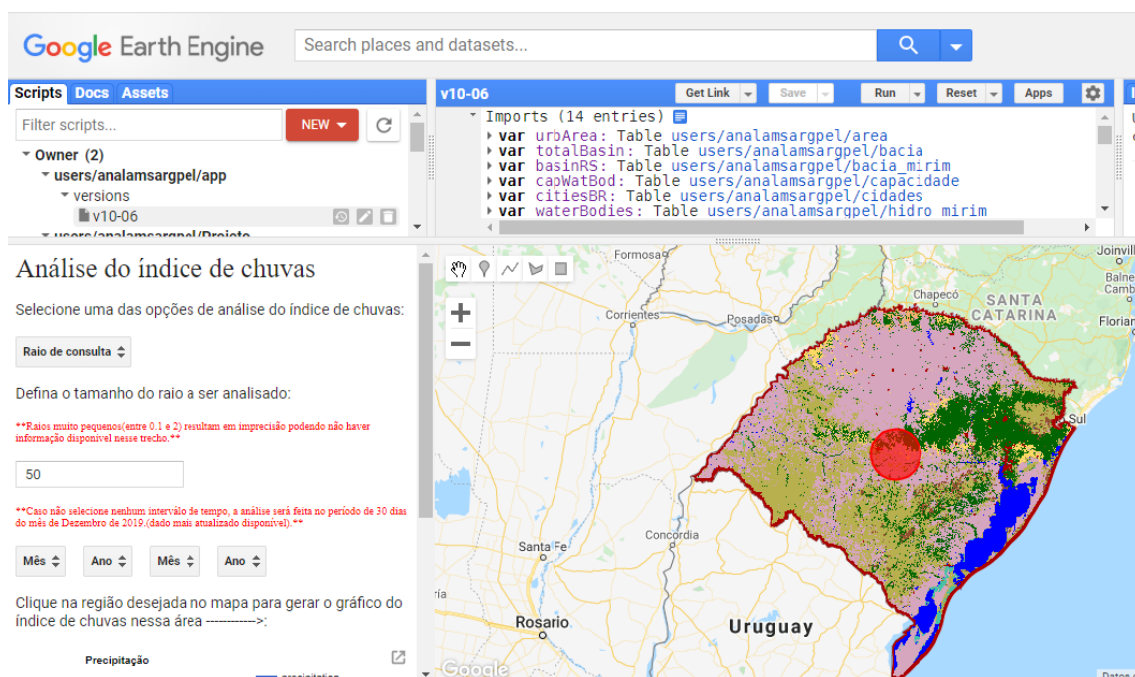


Figura 3. As camadas do modelo hidrográfico da bacia Mirim-São Gonçalo desenvolvida no GEE destacadas pelo círculo vermelho.

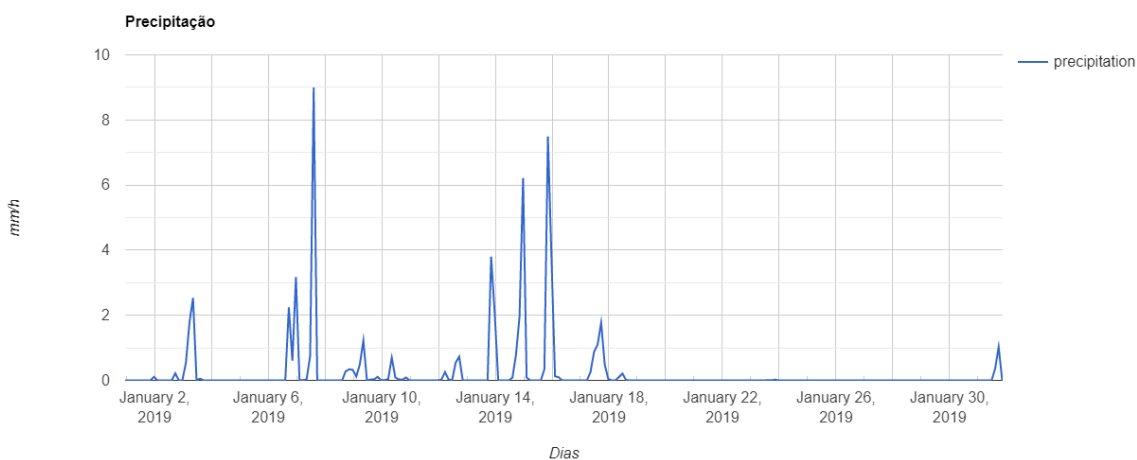


Figura 4. Precipitação na região do círculo vermelho da Figura 2 para janeiro/2019.

um elemento que foi construído a partir de uma imagem ou conjunto de dados georreferenciados.

Como os recursos e serviços hídricos desempenham um papel crucial no crescimento econômico e na sustentabilidade ambiental, acredita-se que o GEE é uma plataforma que pode facilitar a análise em larga escala de dados georreferenciados relacionados aos recursos hídricos.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Esta pesquisa avaliou as funcionalidades da plataforma *Google Earth Engine*, também identificou como a plataforma pode auxiliar na análise de dados na gestão participativa

dos recursos hídricos, mais especificamente, utilizando como base os dados do estado do Rio Grande do Sul e focando a aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e Pelotas.

A principal contribuição deste artigo foi a apresentação das funcionalidades da ferramentas GEE, tendo como objetivo principal identificar e avaliar como a plataforma pode auxiliar no contexto de análise de dados em recursos hídricos. Além disso, foi desenvolvido um estudo de caso no qual foi avaliada a disponibilidade de dados e informações disponibilizada pela GEE.

Como trabalhos futuros pretende-se testar a integração entre plataforma GEE e a Simulação Multiagente (MABS – do inglês, *Multiagent Based Simulation*) na gestão participativa dos recursos hídricos, por meio das plataformas PADE² e Colab³.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/Brasil) e a Agência Nacional de Águas (ANA/Brasil) – Pró-Recursos Hídricos Chamada N° 16/2017, pelo auxílio financeiro no desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Cann, K., Thomas, D. R., Salmon, R., Wyn-Jones, A., and Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology & Infection*, 141(4):671–686.
- Che, X., Feng, M., Sexton, J., Channan, S., Sun, Q., Ying, Q., Liu, J., and Wang, Y. (2019). Landsat-based estimation of seasonal water cover and change in arid and semi-arid central asia (2000–2015). *Remote Sensing*, 11(11):1323.
- Dang, T. D., Cochrane, T. A., and Arias, M. E. (2018). Quantifying suspended sediment dynamics in mega deltas using remote sensing data: a case study of the mekong floodplains. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 68:105–115.
- Dang, T. D., Cochrane, T. A., Arias, M. E., Van, P. D. T., and de Vries, T. T. (2016). Hydrological alterations from water infrastructure development in the mekong floodplains. *Hydrological processes*, 30(21):3824–3838.
- Deng, Y., Jiang, W., Tang, Z., Ling, Z., and Wu, Z. (2019). Long-term changes of open-surface water bodies in the yangtze river basin based on the google earth engine cloud platform. *Remote Sensing*, 11(19):2213.
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M. A., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., Biradar, C., and Moore III, B. (2016). Mapping paddy rice planting area in northeastern asia with landsat 8 images, phenology-based algorithm and google earth engine. *Remote sensing of environment*, 185:142–154.

²<https://pade.readthedocs.io/en/latest/>

³<https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb#recent=true>

- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., and Proud, S. R. (2014). Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140:23–35.
- Fisher, A., Flood, N., and Danaher, T. (2016). Comparing landsat water index methods for automated water classification in eastern australia. *Remote Sensing of Environment*, 175:167–182.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202:18–27.
- Hakdaoui, S., Emran, A., Pradhan, B., Qninba, A., Balla, T. E., Mfondoum, A. H. N., Lee, C.-W., and Alamri, A. M. (2020). Assessing the changes in the moisture/dryness of water cavity surfaces in imlili sebkha in southwestern morocco by using machine learning classification in google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1):131.
- Hardy, A., Ettrich, G., Cross, D. E., Bunting, P., Liywalii, F., Sakala, J., Silumesii, A., Singini, D., Smith, M., Willis, T., et al. (2019). Automatic detection of open and vegetated water bodies using sentinel 1 to map african malaria vector mosquito breeding habitats. *Remote Sensing*, 11(5):593.
- Hird, J. N., DeLancey, E. R., McDermid, G. J., and Kariyeva, J. (2017). Google earth engine, open-access satellite data, and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote sensing*, 9(12):1315.
- Khandelwal, A., Karpatne, A., Marlier, M. E., Kim, J., Lettenmaier, D. P., and Kumar, V. (2017). An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using modis data. *Remote sensing of Environment*, 202:113–128.
- Kumar, L. and Mutanga, O. (2018). Google earth engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10):1509.
- Kumar, L. and Mutanga, O. (2019). *Google Earth Engine Applications*. MDPI.
- Li, L., Vrieling, A., Skidmore, A., Wang, T., and Turak, E. (2018). Monitoring the dynamics of surface water fraction from modis time series in a mediterranean environment. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 66:135–145.
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Pei, F., and Wang, S. (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using landsat images based on the google earth engine platform. *Remote sensing of environment*, 209:227–239.
- Lu, S., Jia, L., Zhang, L., Wei, Y., Baig, M. H. A., Zhai, Z., Meng, J., Li, X., and Zhang, G. (2017). Lake water surface mapping in the tibetan plateau using the modis mod09q1 product. *Remote sensing letters*, 8(3):224–233.
- McCullough, I. M., Loftin, C. S., and Sader, S. A. (2013). Lakes without landsat? an alternative approach to remote lake monitoring with modis 250 m imagery. *Lake and reservoir management*, 29(2):89–98.
- Mutanga, O. and Kumar, L. (2019). Google earth engine applications.
- Nguyen, U. N., Pham, L. T., and Dang, T. D. (2019). An automatic water detection approach using landsat 8 oli and google earth engine cloud computing to map lakes and reservoirs in new zealand. *Environmental monitoring and assessment*, 191(4):235.

- Ou, C., Yang, J., Du, Z., Liu, Y., Feng, Q., and Zhu, D. (2020). Long-term mapping of a greenhouse in a typical protected agricultural region using landsat imagery and the google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1):55.
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., and Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633):418–422.
- Poortinga, A., Clinton, N., Saah, D., Cutter, P., Chishtie, F., Markert, K. N., Anderson, E. R., Troy, A., Fenn, M., Tran, L. H., et al. (2018). An operational before-after-control-impact (baci) designed platform for vegetation monitoring at planetary scale. *Remote Sensing*, 10(5):760.
- Schwatke, C., Scherer, D., and Dettmering, D. (2019). Automated extraction of consistent time-variable water surfaces of lakes and reservoirs based on landsat and sentinel-2. *Remote Sensing*, 11(9):1010.
- Shami, S. and Ghorbani, Z. (2019). Investigating water storage changes in iran using grace and chirps data in the google earth engine system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Sidhu, N., Pebesma, E., and Câmara, G. (2018). Using google earth engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1):486–500.
- Tsai, Y. H., Stow, D., Chen, H. L., Lewison, R., An, L., and Shi, L. (2018). Mapping vegetation and land use types in fanjingshan national nature reserve using google earth engine. *Remote Sensing*, 10(6):927.
- Tulbure, M. G. and Broich, M. (2019). Spatiotemporal patterns and effects of climate and land use on surface water extent dynamics in a dryland region with three decades of landsat satellite data. *Science of The Total Environment*, 658:1574–1585.
- Wang, C., Jia, M., Chen, N., and Wang, W. (2018). Long-term surface water dynamics analysis based on landsat imagery and the google earth engine platform: A case study in the middle yangtze river basin. *Remote Sensing*, 10(10):1635.
- Wood, E. F., Roundy, J. K., Troy, T. J., Van Beek, L., Bierkens, M. F., Blyth, E., de Roo, A., Döll, P., Ek, M., Famiglietti, J., et al. (2011). Hyperresolution global land surface modeling: Meeting a grand challenge for monitoring earth's terrestrial water. *Water Resources Research*, 47(5).
- Xia, H., Zhao, J., Qin, Y., Yang, J., Cui, Y., Song, H., Ma, L., Jin, N., and Meng, Q. (2019). Changes in water surface area during 1989–2017 in the huai river basin using landsat data and google earth engine. *Remote Sensing*, 11(15):1824.
- Zou, Z., Xiao, X., Dong, J., Qin, Y., Doughty, R. B., Menarguez, M. A., Zhang, G., and Wang, J. (2018). Divergent trends of open-surface water body area in the contiguous united states from 1984 to 2016. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(15):3810–3815.