

IDENTIFICAÇÃO DE POLUIÇÃO HÍDRICA A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO: CASO DE ESTUDO DO CANAL DO FUNDÃO (BAÍA DE GUANABARA, RIO DE JANEIRO)

Hullysses Sabino¹
Carolina C. Andrade²

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Geologia - Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Brasil (hsabino@ufrj.br)

²Universidade Federal Fluminense - Departamento de Geografia - Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (chiarellocarolina@gmail.com)

ABSTRACT

Water contamination in Guanabara Bay has been going on for decades, although several mitigating measures have been proposed. The Bay has a great geographical extension and is involved in several socio-environmental contexts, which makes it difficult to monitor and analyze its waters. As an initial way to remedy this problem, a methodology was developed in the present article using scenes from Sentinel 2, Normalized Water Difference Index (NDWI) and Turbidity (NDTI), and supervised classification for the detection and measurement of water pollution, with the Fundão Canal as a pilot area. The Google Earth Engine and QGIS environments were used to process geospatial data. The data showed a relationship between the NDWI and NDTI values and the presence of water pollution, showing that these indices can be used as quality indicators. Pollution spots showed a small average increase between the years 2019 and 2020. The methodology employed carried out the classification of pollution spots with considerable accuracy.

Keywords: NDWI; NDTI; Ilha do Fundão;

INTRODUÇÃO

O problema da poluição na Baía de Guanabara reflete um histórico de falta de políticas públicas e da gestão estatal sobre a questão ambiental no Rio de Janeiro. A questão cronifica-se paulatinamente avultando os problemas da ambientais, sociais, econômicos da população carioca e fluminense. Em 2015, a Organização das Nações Unidas deliberou sobre os novos objetivos para o desenvolvimento sustentável, Agenda para 2030, e dentre eles consta “um mundo em que reafirmamos os nossos compromissos relativos ao direito humano à água potável e ao saneamento e onde há uma melhor higiene; e onde o alimento é suficiente, seguro, acessível e nutritivo (...)” (ONU, 2015). Nesse sentido, reafirma-se a importância e necessidade da garantia da água potável e do saneamento básico como um direito humano.

A organização das sociedades humanas, permanentemente se deu ao redor de rios, ribeirões, várzeas e praias, expondo a centralidade e a importância da água, bem natural, na vida da humanidade. A importância da pesca é um exemplo de atividade econômica que impacta frontalmente na vida de moradores ribeirinhos e de litorâneos, ademais, temos o turismo como uma importante e rentável atividade econômica para locais de praia. Nessa perspectiva a poluição ambiental afeta diretamente a atividade econômica desenvolvida por esses moradores. Abordar sobre a questão do direito à água potável e ao saneamento reflete na produção de ambientes saudáveis e na proteção da saúde da população, evitando e resguardando a população de agravos e doenças que são ocasionadas pela falta de saneamento básico, e que agrava a maior parte da população pobre e negra, ampliando as desigualdades sociais.

A Baía da Guanabara recebe os efluentes lançados no Canal do Cunha (Zona Norte do Rio de Janeiro) através do Canal do Fundão. Ambos os canais estão contaminados por diversos tipos de materiais que são lançados neles, incluindo por elementos tóxicos (Santos et al., 2013). A poluição oriunda desses canais avança em direção a Baía pela ala norte e sul do Canal do Fundão, sendo nesta última a mais visível.

O monitoramento da qualidade da água pode ser feito remotamente a partir de imagens de satélites. Ferramentas como o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI, em inglês) e o Índice de Diferença Normalizada de Turbidez (NDTI, em inglês) são amplamente aplicados nos estudos da avaliação da qualidade de corpos hídricos (Bid e Siddique, 2019; Mustafa et al., 2017). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para delimitar a poluição hídrica de na região do Canal do Fundão a partir de sensoriamento remoto.

METODOLOGIA

O Canal do Fundão é o corpo hídrico compreendido entre a Ilha do Fundão (Cidade universitária, *Campus* da Universidade Federal do Rio de Janeiro), Maré e a região portuária do Caju. As águas que fluem pelo Canal do Fundão são provenientes principalmente do Canal do Cunha, que possui uma bacia hidrográfica com cerca de 60 km², abrangendo diversos bairros da zona Norte do Rio de Janeiro (Pereira, 2012). Este

canal com longo histórico de deterioração ambiental e poluição hídrica, incluindo contaminação por metais pesados (Pereira, 2012; Santos et al., 2013)

A ala sul do Canal do Fundão. Para fins de delimitação, entende-se como sendo a ala sul desse canal a parte que está ao sul da Ponte do Saber, a leste da 'foz' do canal do Cunha (a partir da linha Vermelha), até a região de deságue na Baía de Guanabara. A área de estudo deste trabalho compreende ao Canal do Fundão e sua região de deságue (Fig. 1).

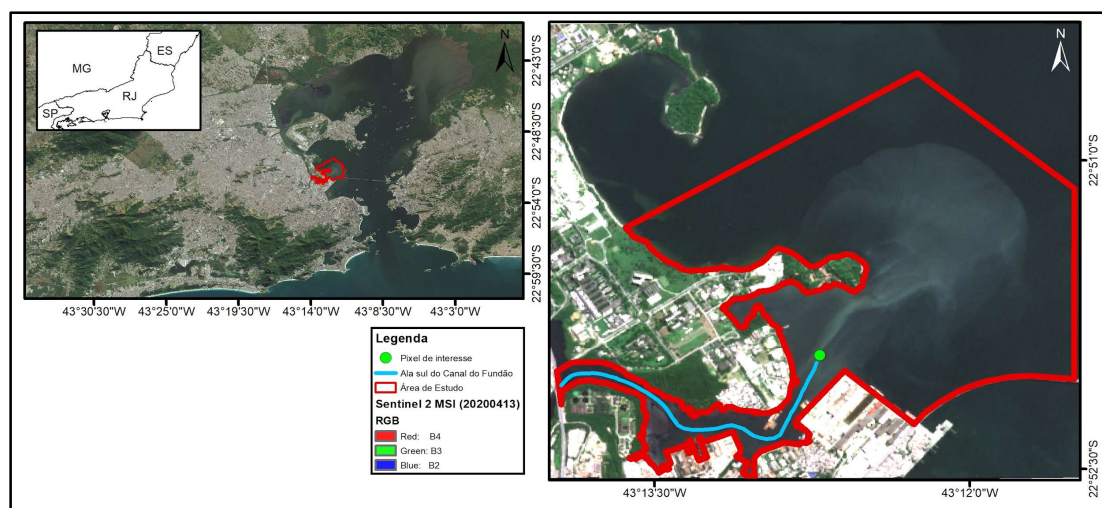


Figura 1. Localização da ala sul do Canal do Fundão e a região de deságue.

As imagens utilizadas neste trabalho são provenientes do Projeto Copernicus Sentinel 2 MultiSpectral Instrument (Level-2A), as quais são disponibilizadas gratuitamente pela *European Spatial Agency* (ESA). Essas imagens possuem 10 metros de resolução espacial e sofreram correção de reflectância na base da atmosfera (*Bottom Of Atmosphere Reflectance* ou BOA, em inglês) (ESA, 2020).

A plataforma *online* e gratuita Google Earth Engine foi utilizada para obter as referidas imagens de satélites e para o processamento digital das imagens. A Google Earth Engine é um serviço de processamento geoespacial da Google que possui um vasto catálogo de imagens de satélites e dados espaciais públicos (Gorelick et al., 2017). O processamento digital das imagens é feito *online* no *data center* da Google, o que permite o uso de um amplo conjunto de dados em curto tempo sem comprometer a capacidade de processamento e memória do computador do usuário. A programação das funções foi feita a partir de linguagem JavaScript na página *Code Editor* do Google Engine.

Foram escritos inicialmente dois conjuntos de funções: um para seleção das imagens e aplicação de índice e um outro para classificação. No primeiro conjunto de funções,

diante do grande volume de cenas disponíveis, foi preciso criar critérios de seleção. As cenas trabalhadas são referentes ao período entre janeiro e agosto dos anos de 2019 e 2020 e que possuem menos de 5% de cobertura de nuvens, formando uma coleção de cenas. Esse período foi selecionado para que fosse possível comparar os dados dentro da mesma faixa temporal. Para a detecção automática da presença da mancha de esgoto na área de estudo foram aplicados conjuntamente o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI, em inglês) e o Índice de Diferença Normalizada de Turbidez (NDTI, em inglês).

O NDWI foi desenvolvido originalmente para detecção de corpos d'água, sendo utilizado para outros fins, como avaliação da qualidade de água (McFeeters, 1996). O NDWI utiliza a reflectância do alvo de estudo na banda da luz verde (b_{Green}) e da radiação do infravermelho próximo (b_{NIR}), podendo ser encontrado a partir da Equação 1. O NDTI é capaz de detectar a variação da resposta espectral da água causada pela sua turbidez. A turbidez pode ser compreendida como a dificuldade da água em transmitir a luz por conta da presença de sólidos em suspensão, como material orgânico e microorganismos (SANTOS, 2008). No caso do NDTI, valores negativos representam água limpa e valores mais positivos indicam água com alta turbidez. O NDTI utiliza as bandas da luz verde (b_{Green}) e da vermelha (b_{Red}), conforme Equação 2 (Lacaux et al., 2007).

$$NDWI = \frac{b_{Green} - b_{NIR}}{b_{Green} + b_{NIR}} \quad (1)$$

$$NTDI = \frac{b_{Green} - b_{Red}}{b_{Green} + b_{Red}} \quad (2)$$

Após a avaliação visual de cerca de 10 imagens de diferentes datas, foi constatar inicialmente a variação das manchas diante do padrão de correntezas locais e foi possível identificar que uma pequena área na 'foz' do Canal do Fundão não sofria significativamente o efeito dessas correntezas. Isto é, na maioria das vezes em que foi detectada a presença da mancha de esgoto na cena, havia a mancha nessa área. Nessa área foi selecionado um *pixel* para extrair automaticamente os dados de NDWI e NDTI de cada uma das cenas da coleção previamente selecionadas. A localização do referido *pixel* escolhida para o presente trabalho é vista na Figura 1.

Os valores do NDWI e NDTI de cada cena foram extraídos e plotados para uma tabela dentro do ambiente do Google Engine. As cenas que possuíam as maiores diferenças entre os valores de NDWI e NDTI eram as que apresentavam maior turbidez na água e estas foram selecionadas para classificação. Para esta classificação foi escrito o segundo conjunto de funções, onde cada uma das imagens foi classificada para poder

delimitar o tamanho da mancha na água. A classificação utilizada foi do tipo supervisionada e feita com o pacote *ee.Classifier* (Google Developers, 2020a) utilizando as bandas B4, B3 e B2 do Sentinel 2, as quais correspondem respectivamente às bandas vermelho, verde e azul. As classes escolhidas para classificar foram “água poluída” e “outros”, visto que o foco do estudo era a detecção apenas das manchas de água poluída. Os ruídos das classificações foram reduzidos a partir do código *ee.Image.focal_mode* (Google Developers, 2020b).

Para medir o tamanho da mancha, foi necessário fazer o *download* do *raster* da classificação com ruídos reduzidos e convertê-lo para *shapefile* no sistema de informação geográfica QGIS versão 3.6.3 (QGIS Development Team, 2020). No *shapefile*, as feições que não correspondiam a mancha foram excluídas e o arquivo foi editado para melhorar a acurácia da delimitação nos casos necessários. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Calculadora de Campo* para medir a área e o perímetro. Os mapas foram feitos no ArcGIS versão 10.3 (ESRI, Redlands, EUA). Na Tabela 1 é possível ver a metodologia empregada neste trabalho apresentada resumidamente.

TABELA 1. METODOLOGIA APLICADA PARA SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS CENAS.

Etapa	Procedimento
1	Seleção das cenas Sentinel 2 no ano de 2019 e 2020 com menos de 5% cobertura de nuvem;
2	Classificação das cenas a partir dos índices NDWI e NDTI;
3	Seleção do <i>pixel</i> de interesse e inserção dos seus valores de NDWI e NDTI de todas as cenas em gráfico;
4	Seleção das cenas que apresentaram maior diferença dos valores dos índices;
5	Classificação supervisionada das cenas selecionadas no item anterior e redução de ruídos;
6	<i>Download</i> do arquivo raster e conversão para <i>shapefile</i> no ambiente QGIS;
7	Nos casos necessários, o arquivo <i>shapefile</i> foi editado para melhorar a acurácia da delimitação;
8	Medição da área e perímetro;

RESULTADOS

Ao todo, 19 cenas do Sentinel 2 foram compatíveis com os primeiros critérios de seleção (item 1 da tabela 1). Foram testadas algumas porcentagens de taxa de cobertura de nuvem até ser encontrado o valor ideal. Durante os testes ocorria ocasionalmente a

presença de núcleos de nuvens sobre a área de estudo. Nesses casos, o *pixel* de interesse possuía valores de NDTI e NDWI muito próximos entre si e ambos próximos ou maiores do que zero. Essa característica espectral atípica trouxe maior agilidade os processos de análise, pois pôde auxiliar a detectar rapidamente as cenas inaptas para a classificação dentro de um grande número de imagens. No caso do período amostrado e com a taxa de cobertura utilizada neste trabalho (< 5%), não ocorreram esses casos. A presença de reflexos na superfície da água causado pelo vento também reduziu a acurácia da delimitação. Em alguns dias analisados, a poluição era tão intensa na Baía de Guanabara que era houve dificuldades para identificar apenas mancha de poluição oriunda do Canal do Fundão. Para contornar essas situações, era preciso aumentar o número de amostras e ajustar o fator de redução de ruído. Ainda assim, houve uma cena (do dia 28/06/19) que não foi possível distinguir a origem da poluição, então essa cena foi excluída das análises, dessa forma, ao total, 18 cenas foram selecionadas para serem classificadas, sendo 10 do ano de 2019 e 8 cenas de 2020.

Como dito anteriormente, nas datas onde os dados do NDTI e NDWI possuíam maior disparidade entre si, constatou-se maior facilidade na classificação da água poluída por conta da maior concentração de material particulado na água, conforme destacado em verde na Figura 2. Ao passo que, nos dias em que os dados desses índices eram mais próximos (em vermelho na Fig. 2), houve redução da acurácia da delimitação da mancha de poluição devido a menor concentração do material particulado em suspensão na água da data analisada. Análises iniciais dos valores do NDWI indicaram que quando os valores estavam acima de -0,5 na região de estudo, a acurácia da delimitação era reduzida. Logo, quando os valores dos índices estavam próximos, a mancha de poluição estava menos concentrada, indicando uma água menos poluída.

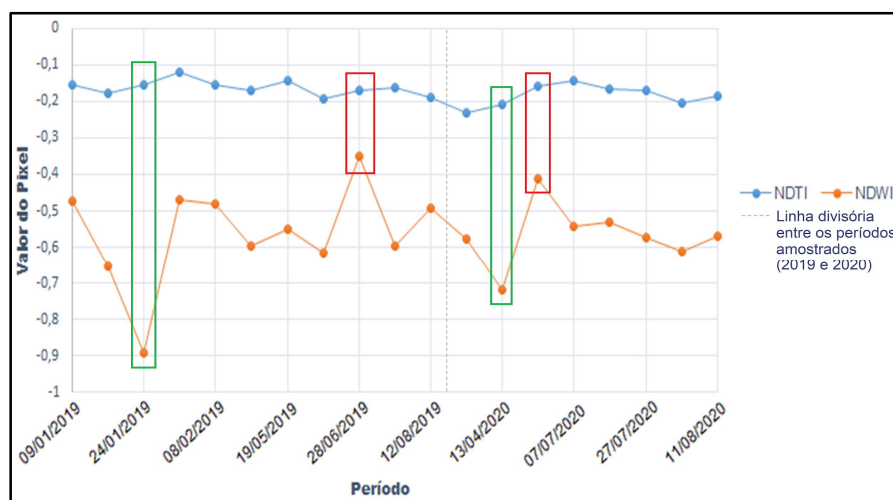


Figura 2. Relação NDTI e NDWI entre janeiro e agosto de 2019 e 2020. Os dados envolvidos com retângulo verde indicam datas com melhor acurácia de delimitação e maior poluição, e os dados envoltos por retângulos vermelhos indicam datas com pior detalhamento da delimitação.

Na Figura 3 é possível observar o produto de cada uma das etapas. Para a classificação das imagens, foi testado a classificação utilizando as bandas espectrais (B4, B3 e B2), o NDTI, NDWI e NDTI junto com NDWI. Após sucessivos testes, foi constatado a partir de comparação visual, que a melhor classificação foi feita a partir das bandas espectrais (B4, B3 e B2), apesar da classificação utilizando ambos os índices tenha tido um resultado considerável. O teor de redução de ruídos variou de acordo com as características de cada cena. A redução de ruídos reduz o detalhamento das classificações, com a exclusão de pequenas áreas, como visto comparativamente nos itens B e C da Figura 3. Ainda assim, essa metodologia se mostrou eficaz, preservando as feições gerais das manchas, e foi aplicado na maioria das cenas analisadas.

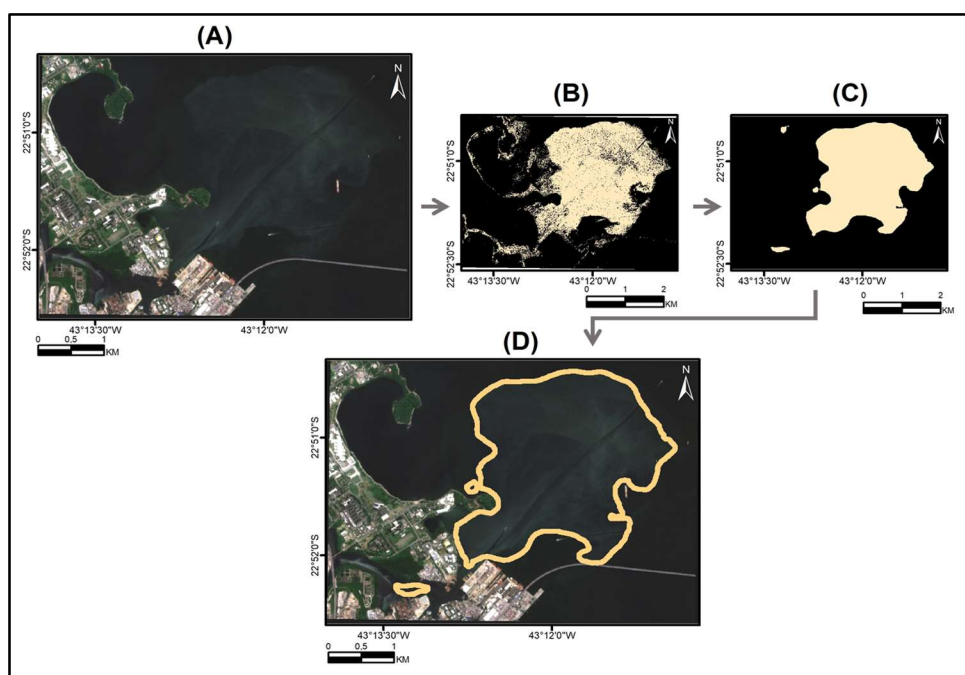


Figura 3. Esquema do processo de delimitação das manchas. (A) Imagem Sentinel (20190404) em composição RGB; (B) Classificação supervisionada da imagem; (C) Classificação com redução de ruídos; (D): Edição e delimitação da mancha (linha bege).

Ao todo, foram delimitadas 10 manchas de 2019 e 8 manchas de 2020. Inicialmente, foram extraídos os dados de área e perímetro das manchas de poluição (Tabela 2). Esses dados mostraram que as manchas tiveram comportamentos distintos entre 2019 e 2020. A menor área de mancha em 2019 foi de 0,39 km², ao passo que em 2020 foi de 0,63 km². Em 2019, a maior mancha alcançou incríveis 8,70 km², quase 70% maior do a própria ilha do Fundão (de ~5,2 km²). Em 2020, a maior foi de 4,87 km², quase do tamanho da ilha do Fundão. Em média, as manchas de 2019 possuíram 2,86 km² e, em 2020, 2,88 km². O tamanho médio das manchas de 2020 estavam maiores do que as manchas de 2019, indicando, *a priori*, maior contaminação no ano de 2020.

TABELA 2. DADOS OBTIDOS A PARTIR DA DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE POLUIÇÃO.

ID	Data de aquisição	Área (km ²)	Perímetro (km)	ID	Data de aquisição	Área (km ²)	Perímetro (km)
20190109	09/01/2019	1,52	5,8	20200208	08/02/2020	3,52	23,9
20190114	14/01/2019	1,39	15,38	20200413	13/04/2020	2,88	13,18
20190124	24/01/2019	1,14	9,64	20200602	02/06/2020	4,87	18,28
20190129	29/01/2019	0,39	15	20200707	07/07/2020	2,95	12,74
20190208	08/02/2019	2,05	15,28	20200722	22/07/2020	3,06	13,64
20190404	04/04/2019	6,76	19,36	20200727	27/07/2020	0,63	6,28
20190519	19/05/2019	8,7	25,44	20200806	06/08/2020	4,32	19,94
20190623	23/06/2019	1,79	12,16	20200811	11/08/2020	0,82	7,29
20190723	23/07/2019	1,67	11,04				
20190812	12/08/2019	3,14	19,76				

CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou Google Earth Engine e o QGIS, as quais prontamente atenderam as demandas requisitadas. Essas ferramentas são de livre acesso, o que possibilita a maior difusão de dados e métodos, além de maior participação colaborativa.

As análises iniciais mostraram que os dados oriundos do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) e do Índice de Diferença Normalizada de Turbidez (NDTI) podem ser utilizados como um indicador da qualidade da água. Nas cenas em que os valores desses índices apresentaram pouca diferença entre si, foi detectado águas menos turvas. Em geral, a área das manchas aumentou em 2020 se comparada com 2019. Recomenda-se maior detalhamento em futuros trabalhos para averiguar se esse aumento esteve relacionado à quarentena causada pela pandemia do novo coronavírus. Variáveis como condições ambientais (presença de nuvens, vento no espelho d'água e maré) e poluição hídrica vinda de outras áreas da Baía de Guanabara dificultaram a delimitação da mancha, apesar disso, a metodologia aplicada mostrou-se acurada. Recomenda-se que futuros estudos analisem os dados em um período temporal maior e que seja visto a viabilidade da metodologia apresentada neste trabalho em ser aplicada às imagens da família Landsat. Também se recomenda a obtenção de valores de turbidez *in situ* para relacioná-los com os valores obtidos pelos satélites e, com isso,

desenvolver um algoritmo que possibilite mensurar com acurácia o teor de turbidez remotamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017, v. 102, n. 1, p. 18-27.
- ESA. Level-2A Algorithm Overview. 2020. Disponível em: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, v. 17, n. 7, p. 1425–1432.
- Santos, A.C. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E.C.; Demetrio, J.G.A. *Hidrogeologia – conceitos e aplicações*. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID.
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., & Lafaye, M. (2007). Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, 2007, v. 106, n. 1, p. 66-74.
- Google Developers. *Supervised Classification*. 2020a. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/guides/classification>. Acesso: 17 ago. 2020.
- Google Developers. *ee.Image.focal_mode*. 2020b. Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-image-focal_mode. Acesso: 16 ago. 2020.
- QGIS Development Team. *QGIS geographic information system*. 2020. Open source geospatial foundation project. (https://www.qgis.org/pt_BR/site/).
- ONU (Organizações da Nações Unidas). *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em 18 ago. 2020.
- Santos, F.V.; Borges, R.C.; Viera, P. C.; Simões Filho, F.F.L.; Lapa, C.M.F. 2012. Uso de SIG na Avaliação da Contaminação por Chumbo e Cobre no Canal do Cunha e no Oeste da Baía de Guanabara , Rio de Janeiro, RJ. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- Pereira, F.C.S. Análise da disposição do material dragado no Canal do Fundão e no Canal do Cunha – Rio de Janeiro/RJ. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2012.
- Bid, S.; Siddique, G. Identification of seasonal variation of water turbidity using NDTI method in Panchet Hill Dam, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2019, v. 5, p. 1179–1200.
- Mustafa, M. T., Hassoon, I., Hussian, H. M., & Abd, M. H. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEL) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Research–Granthalayah*, 2017, v. 5, n. 10, p. 117-128.