

APLICAÇÃO DE ÍNDICE RADIOMÉTRICO PARA DELIMITAÇÃO DOS PRINCIPAIS MANANCIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Bruno Pereira Toniolo¹

Darllan Collins da Cunha e Silva²

Ricardo Luís Barbosa³

Alessandro Muniz Paixão⁴

Gabriela Gomes⁵

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

The preservation of water resources is essential for public supply, so that the surface water area varies depending on rainfall. Thus, the objective of this research was to delimit the area of the main reservoirs located in and around the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP). The NDWI (Normalized Difference Water Index) radiometric index was applied on Landsat satellite images for the years 2014 and 2020 for comparative purposes. The results obtained showed that for 2014 the NDWI pointed to an area of 162.06 km² of surface water and for 2020 this area increased to 186.25 km², that is about 15%. The reservoirs also showed oscillation in the NDWI in relation to their complete area, with -32.5% for 2014 and -27.5% for 2020. It was found that the organic matter contained in a polluted water body can influence the value of the NDWI as less than zero, according to the average value of -0.48 in the Pirapora reservoir (Tiete River) for 2014. The method proved to be effective for mapping, however it has some restrictions such as the need to rectify the sinuosity of the geometric shape and care with the choice of spatial resolution. Finally, it is recommended, for future work, the association of the NDWI with digital elevation models (DEM) to estimate the volume of a reservoir.

Palavras-chave: NDWI, reservatório, sensoriamento remoto.

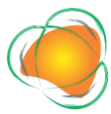
¹Tecnólogo na Sabesp e Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, btoniolo@sabesp.com.br

²Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, darllan.collins@unesp.br

³Prof. Dr. Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo-MG, Instituto de Geografia, rluisbarbosa@ufu.br

⁴Engenheiro Civil Gerente na Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – Sabesp, ampaixao@sabesp.com.br

⁵Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, gabriela.gomes98@unesp.br



INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos é essencial, uma vez que as águas superficiais constituem os mananciais, e estes se configuram em represas para fins de abastecimento público, com a finalidade de acumular água no período chuvoso ou úmido para ser utilizada no período seco ou de estiagem (MELLO et al., 2020).

As represas também são importantes para o controle de cheias, uma vez que no período de chuvas fortes, barram parte da vazão que desembocaria aos corpos hídricos e áreas urbanas, retendo ou soltando o volume de água lentamente e de forma controlada para diminuir o impacto das inundações (SABESP, 2022).

As técnicas de sensoriamento remoto são cada vez mais usadas nas análises ambientais, permitindo mapeamento multidisciplinar, uma vez que as imagens obtidas desses processos proporcionam visão multitemporal da paisagem, destacando os impactos causados por fenômenos naturais ou antrópicos, especialmente as mudanças no terreno como, por exemplo, o tamanho das águas superficiais (SONNENBERG et al., 2020; VIANA et al., 2022; SILVA et al., 2022).

Os índices radiométricos são utilizados com frequência para fazer o mapeamento de uso e ocupação da terra, identificando elementos específicos conforme seu comportamento espectral, como por exemplo, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para cobertura vegetal, o NDBI (Normalized Difference Built-up Index) para edificações e áreas construídas e o NDWI (Normalized Difference Water Index) para áreas úmidas e massas d'água (LACERDA et al., 2019).

Embora o NDWI originalmente foi concebido para identificar o conteúdo de água na cobertura vegetal, de forma a acompanhar as mudanças de biomassa e avaliar o estresse hídrico da flora, diversos autores o vem utilizando para delimitar com maior assertividade o limite do espelho de águas superficiais, como represas, córregos, zonas ripárias e lagos artificiais (MCFEETERS, 1996; AUGUSTO et al., 2022).

Assim, o objetivo desse trabalho foi a aplicação do índice NDWI para determinar as áreas dos principais mananciais produtores de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), comparando dois anos distintos, 2014 e 2020.

Realização





METODOLOGIA

A área de estudo corresponde aos reservatórios dos sistemas produtores de água, situados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e em suas cercanias: Cantareira, Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande, Rio Claro e São Lourenço – conforme mostra a Figura 1.

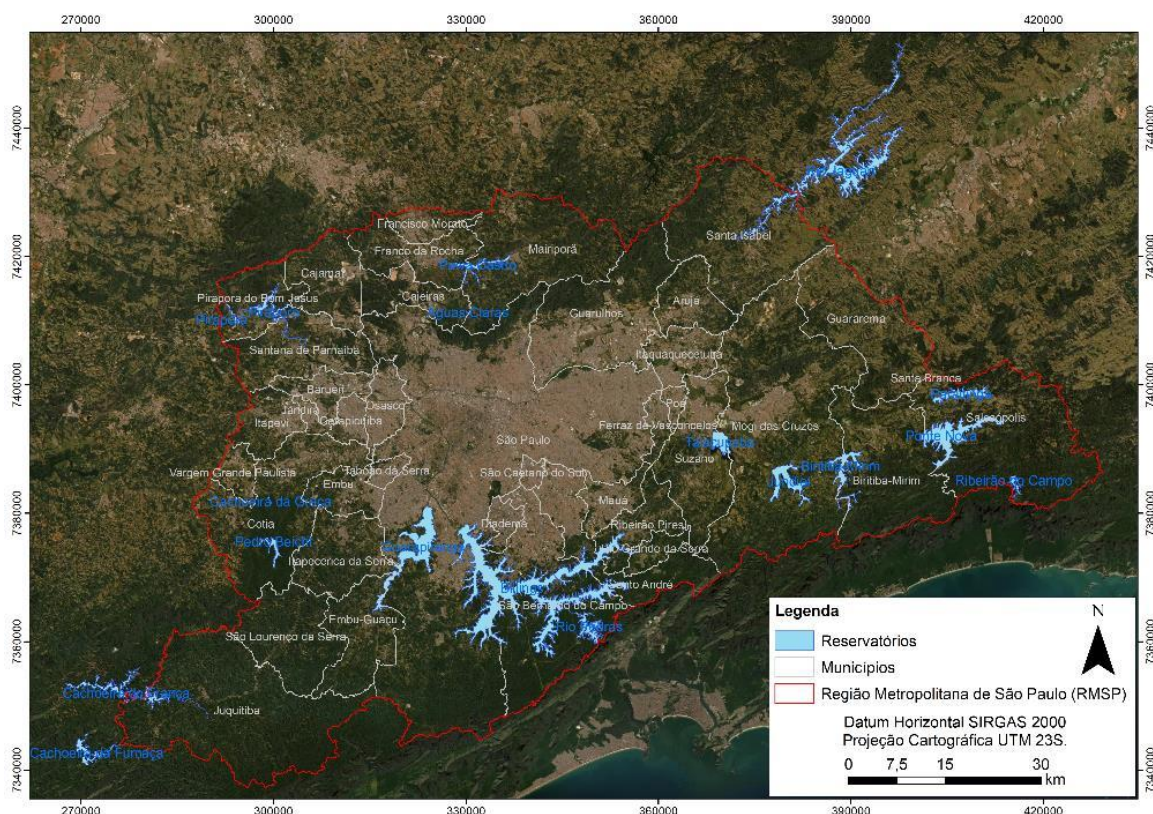


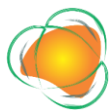
Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: autoria própria.

Estes sistemas são monitorados e preservados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), o que equivalem a 9 mil hectares de espelho de água e 35 mil hectares de área no entorno dos mananciais, de forma que estas reservas correspondem a 1,4% do remanescente de Mata Atlântica do Estado de São Paulo, assim como oferecem água tratada a mais de 22 milhões de habitantes (SABESP, 2022).

A RMSP possui extensão de 7.946 km², clima do tipo Tropical de altitude (Cwa) e

Realização



abarca 39 municípios, sendo o maior polo de riqueza nacional com um PIB (Produto Interno Bruto) per capita de R\$ 47.156,64 e um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) igual a 0,794 (SEADE, 2014; IBGE, 2018).

Foram escolhidas duas imagens orbitais do sensor OLI do satélite Landsat 9, desenvolvido pela NASA (USGS, 2013), com resolução espacial de 30 metros e cuja órbita/ponto é 291/076 e 291/077. Para fins de comparação do NDWI, foram usadas duas datas distintas: 08/03/2014 e 29/04/2020.

No software QGIS versão 3.22, estas imagens foram georreferenciadas no datum horizontal SIRGAS 2000 e em projeção cartográfica SIRGAS 2000 UTM 23S, assim como foi aplicada sobre elas a correção atmosférica DOS1 para melhorar o aspecto radiométrico, com o uso do complemento Semi Automatic Classification Plugin (SCP) (QGIS, 2022).

O cálculo do NDWI foi obtido conforme sugerido por França et al. (2012) e Silva et al. (2017), o qual usa a reflectância das bandas verde (comprimento da onda de 0,53 µm a 0,59 µm) e infravermelho próximo (0,85 µm a 0,88 µm), conforme a Equação 1, sendo que seus valores variam entre -1 e +1, de forma que os valores positivos se referem às áreas úmidas ou corpos hídricos e os valores negativos são a vegetação e área construída. Este cálculo foi feito no software QGIS, usando o complemento Calculadora Raster. Também, foi calculada a estatística descritiva para os 17 reservatórios.

$$NDWI = (VD - IVP) / (VD + IVP) \text{ (Eq. 1)}$$

Onde: VD é a banda do verde e IVP é a banda do infravermelho próximo.

As regiões mapeadas pelo NDWI foram vetorizadas e quantificadas, atribuindo os valores de áreas pelos 39 municípios e 17 represas da RMSP (CBH-AT, 2022), sendo que estas foram relacionadas com os dados operacionais disponíveis no sítio Portal dos Mananciais da Sabesp (SABESP, 2022). Por fim, os valores do NDWI foram associados ao uso e ocupação do solo do ano de 2014, por média (comando Estatística Zonal do QGIS), usando-se como base o MapBiomias e o seu quarto nível de classes de uso (MAPBIOMAS, 2021).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O NDWI foi obtido por meio de operações matemáticas com a combinação das bandas do verde e infravermelho próximo, sendo que determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético são refletidos e outros são absorvidos, a destacar o alvo desejado que no caso são as áreas úmidas e as águas superficiais.

Reforça-se que o NDWI usado neste trabalho foi o proposto por McFeeters (1996), o qual usa a banda do infravermelho próximo, mais adequado para detectar corpos hídricos, contudo existe o NDWI proposto por Gao (1996), também, que usa a banda do infravermelho médio em substituição ao infravermelho próximo, sendo mais indicado para detectar a umidade do solo.

As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas do NDWI, respectivamente para os anos de 2014 e 2020.

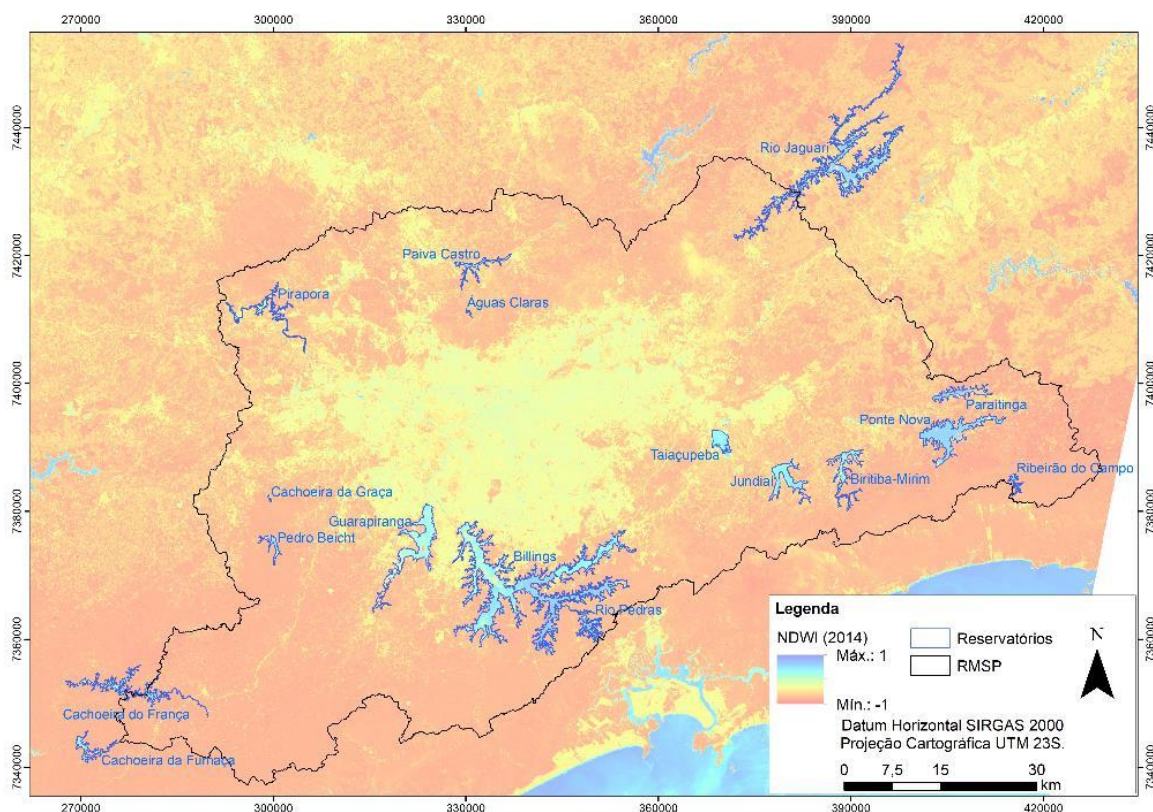


Figura 2. Mapa do Índice por Diferença Normalizada de água (NDWI) do ano de 2014.

Realização

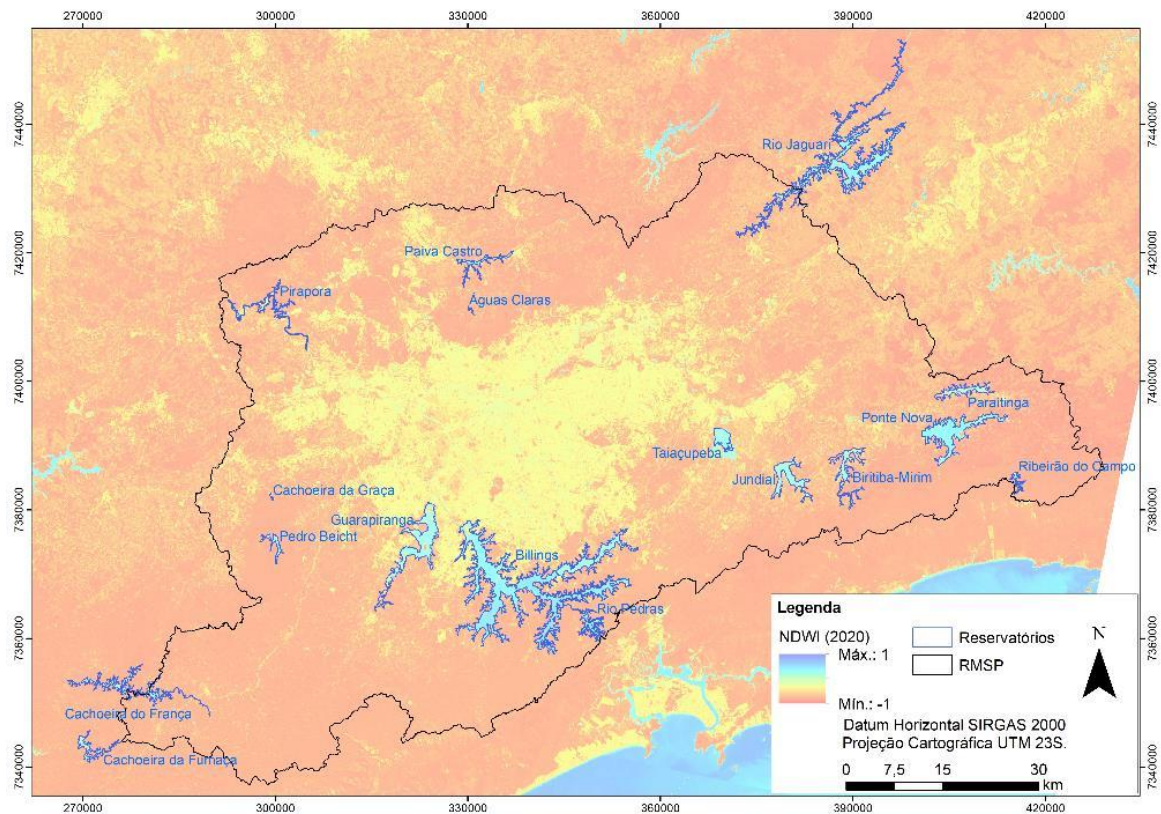
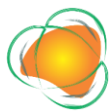
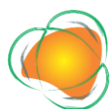


Figura 3. Mapa do Índice por Diferença Normalizada de água (NDWI) do ano de 2020.

Analisando as Figuras 2 e 3, notou-se que o NDWI destacou com clareza os reservatórios que abastecem a RMP, os quais ficaram na cor azul, assim como este índice também diferenciou bem as áreas construídas (cor amarelo) da cobertura vegetal (cor vermelho). Contudo, ressalta-se, que o NDWI pode delimitar áreas úmidas, isto é, solos com alto teor de umidade, que não necessariamente possam ser uma porção de água superficial (SILVA et al., 2017; AUGUSTO et al., 2022).

Todavia, pelas Figuras 2 e 3, não é possível distinguir somente por interpretação visual a separação dos corpos hídricos das áreas úmidas, de forma que estas duas classes tem a tendência de se agrupar na mesma faixa de tonalidade, aumentando a confusão espectral entre as classes.

O NDWI para o ano de 2014 apresentou um valor médio de -0,32, caracterizado como vegetação ou área impermeabilizada, com desvio padrão de 0,46. Já o NDWI para o ano de 2020 exibiu comportamento semelhante com valor médio de -0,31 e desvio padrão



0,51. Este padrão é corroborado nas Figuras 2 e 3, onde se vê claramente que a hidrografia, embora esteja destacada, possui frequência inferior às demais classes de uso de solo.

A Tabela 1 apresenta as áreas do NDWI (em km²) divididas pelos municípios situados na RMSP, para os anos de 2014 e 2020, de forma que sua estatística descritiva para o ano de 2014 é média de 4,22 km², desvio padrão de 10,81 km² e variância de 116,90 km⁴ e para 2020 os valores são respectivamente 55,23 km², 12,46 km² e 155,32 km⁴.

Tabela 1. Área do NDWI separada por municípios da RMSP.

Município	Área NDWI (km ²)		Município	Área NDWI (km ²)	
	2014	2.020		2014	2020
Arujá	0,037	0,066	Mairiporã	2,676	2,530
Barueri	0,573	0,197	Mauá	0,116	0,083
Biritiba Mirim	7,411	8,663	Mogi das Cruzes	14,704	17,215
Caieiras	0,115	0,100	Osasco	0,103	0,091
Cajamar	0,084	0,113	Pirapora do Bom Jesus	1,729	0,291
Carapicuíba	0,204	0,034	Poá	0,007	0,008
Cotia	1,994	2,781	Ribeirão Pires	4,026	4,062
Diadema	0,253	0,475	Rio Grande da Serra	0,042	0,010
Embu das Artes	0,100	0,079	Salesópolis	18,033	20,973
Embu-Guaçu	0,426	0,808	Santa Isabel	3,306	4,334
Ferraz de Vasconcelos	0,003	0,002	Santana de Parnaíba	0,702	0,318
Francisco Morato	0,002	0,001	Santo André	4,162	5,179
Franco da Rocha	0,869	0,809	São Bernardo do campo	53,266	60,570
Guararema	0,534	0,266	São Caetano do Sul	0,002	0,001
Guarulhos	0,353	0,127	São Lourenço da Serra	0,113	0,144
Itapecerica da Serra	0,304	0,625	São Paulo	40,062	46,768
Itapevi	0,053	0,040	Suzano	5,518	8,099
Itaquaquecetuba	0,114	0,353	Taboão da Serra	0,006	0,003
Jandira	0,012	0,006	Vargem Grande Paulista	0,042	0,026
Juquitiba	2,553	2,996	Total (RMSP)	162,056	186,247

A Tabela 1 mostra que os municípios com maior área de água superficial são São Bernardo do Campo e São Paulo em função dos reservatórios Billings e Guarapiranga, respectivamente. Já os municípios que apresentam menor disponibilidade de espelho d'água são Francisco Morato e São Caetano do Sul, pois não existem mananciais produtores dentro dessas duas cidades.

Verificou-se também, na Tabela 1, que o município que teve maior expansão de suas águas superficiais entre 2014 e 2020 foi Itaquaquecetuba, seguido do município de

Realização



Itapecerica da Serra, enquanto os que apresentaram maior encolhimento foram os municípios de Carapicuíba e Pirapora do Bom Jesus. A RMSP teve um crescimento de 24,19 km², o que equivale a 14,93%.

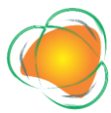
A Tabela 2 apresenta a comparação da área institucional dos reservatórios segundo o CGG-AT (2022) – o que equivale à 100% da capacidade volumétrica – com as áreas obtidas pelo NDWI para os anos de 2014 e 2020.

Tabela 2. Comparação de área dos reservatórios.

Reservatório	Área (km ²)			Diferença (%)	
	CBG-AT (2022)	NDWI (2014)	NDWI (2020)	2014	2020
Águas Claras	0,16	0,05	0,05	-66,77	-263,58
Billings	108,82	75,18	90,39	-30,92	-20,40
Biritiba-Mirim	9,91	4,02	4,11	-59,41	-141,09
Cachoeira da Fumaça	4,95	3,19	3,35	-35,58	-47,90
Cachoeira da Graça	0,14	0,06	0,05	-55,51	-172,36
Cachoeira do Franca	11,39	6,23	7,60	-45,36	-49,84
Guarapiranga	28,40	19,81	21,17	-30,25	-34,11
Jundiá	11,30	8,84	10,39	-21,76	-8,80
Paiva Castro	4,33	3,29	3,10	-23,95	-39,70
Paraitinga	6,97	2,81	3,03	-59,75	-130,25
Pedro Beicht	3,01	1,80	2,63	-40,27	-14,62
Pirapora	6,88	2,06	0,35	-70,08	-1.865,95
Ponte Nova	24,78	18,81	22,90	-24,11	-8,21
Ribeirão do Campo	1,70	1,11	0,95	-34,88	-79,29
Rio Jaguari	47,78	31,93	37,38	-33,18	-27,83
Rio Pedras	6,73	4,61	4,46	-31,47	-50,69
Taiapuê	6,59	7,67	10,80	16,47	39,02
Total	283,85	191,46	222,71	-0,33	-0,27

A Tabela 2 aponta que dos 17 reservatórios, 11 tiveram em 2020 uma área de espelho d'água maior que no ano de 2014, de forma que a soma para das áreas do NDWI para 2020 foi cerca 31,24% em relação a 2014, o equivalente a 31,24 km².

O reservatório que apresentou menor diferença em relação a sua área institucional para o ano de 2014 foi o manancial de Taiapuê com um aumento de 16,47% e o reservatório na situação contrário foi o de Águas Claras com encolhimento de 66,77% de sua área. Já para o ano de 2020, os reservatórios que apresentaram menos variação foram os de Jundiá e Ponte Nova com 8,80% e 8,21%, respectivamente, sendo que o Águas Claras



novamente apresentou maior redução com um percentual de 263,58.

Ressalta-se que os valores de -1.865,95% do reservatório Pirapora na Tabela 2 e a área de 0,291 km² para 2020 para o município de Pirapora do Bom Jesus (Tabela 1) não coadunam com a realidade, pois nesse local o NDWI delimitou de forma confusa a água superficial do Rio Tiete, isto é, com a predominância de valores abaixo de zero, sendo uma média do NDWI igual -0,48.

Essa ocorrência é influenciada pela poluição do Rio Tietê, de forma que a matéria orgânica em suspensão, pode gerar respostas espectrais distintas das esperadas para a água. Isto pode ser corroborado pelo posto de monitoramento TIRG02900, situado no local, que apontou para os anos de 2019, 2020 e 2021 um Índice de Qualidade da Água (IQA) igual a 27, 25 e 20, respectivamente, classificado como Ruim (CETESB, 2021).

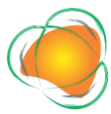
Outro fator que pode contribuir para a confusão do NDWI neste trecho são as espumas ocasionadas pela baixa vazão de água e ao lançamento de esgoto doméstico não tratado, especialmente detergentes não biodegradáveis, causando mau cheiro e possuindo altíssima toxicidade, de forma que este é um problema antigo na região, com mais de 40 anos (AGÊNCIA BRASIL, 2015).

Os valores de NDWI variaram menos no ano de 2020 em relação a 2014, totalizando cerca de 207 mil pixels vetorizados, de forma que a média deste índice foi 0,284 para 2014 e 0,198 para 2020. Notou-se também que o reservatório que apresentou maior dispersão dos valores do NDWI para 2014 foi o Guarapiranga e para 2020 foi o reservatório Cachoeira da Graça. Já o reservatório que apresentou maior dispersão para 2014 foi a Cachoeira da Graça e para 2020 foi o de Pirapora.

Verificou-se que a aplicação do NDWI possui algumas limitações como uma delimitação mais grosseira das massas d'água devido a resolução espacial das imagens de satélite, não respeitando seu formato, geralmente sinuoso, de forma que dependendo da finalidade da identificação é necessária a retificação da hidrografia, especialmente para o cômputo de área ou o uso de uma imagem aérea com melhor resolução espacial (FLORENZANO, 2005).

Outra restrição observada foi a identificação errônea dos alvos situados em área impermeabilizada como água superficial ou vegetação, diminuindo os corpos d'água, em

Realização



função da largura do leito dos rios ser inferior à resolução espacial de 30 metros. Este fenômeno foi corroborado pelo estudo de Gil et al. (2019) que aplicou o NDWI nas áreas inundadas do Rio Taquari (MS), constatando que o índice desconsiderou trechos do leito deste curso d'água e misturou os pixels situados no leito com pixels distantes nas várzeas e sem conexão direta com o rio.

Foi verificado também que classes não se referem à água, como área urbana, solo exposto, vegetação arbórea etc., apresentaram embaralho espectral, de forma que um mesmo intervalo de NDWI correspondia a distintos alvos. Este fato foi também observado por Pereira et al. (2018) ao comparar o NDWI de Gao (1996) e o de McFeeters (1996) na Planície Pantaneira (MT e MS).

A Figura 3 apresenta os valores de NDWI associados às classes de uso do solo do MapBiomas para o ano de 2014.

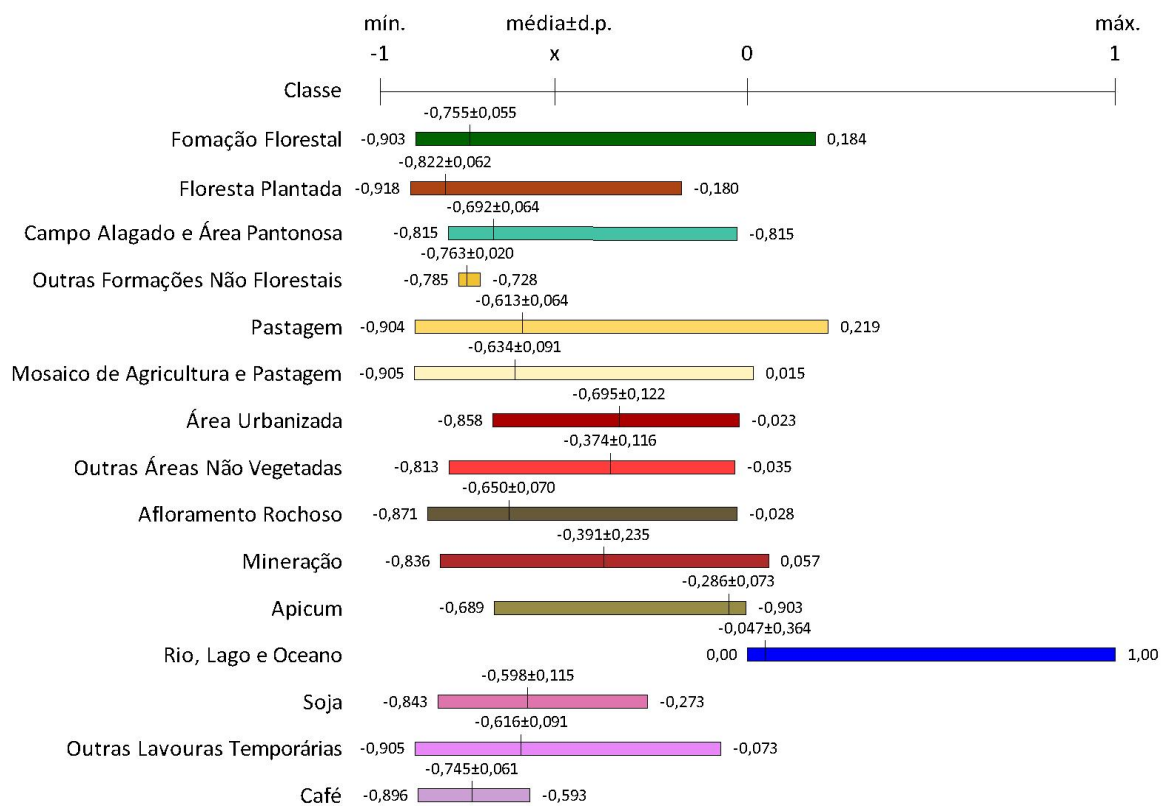
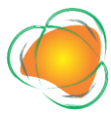


Figura 2. Mapa do Índice por Diferença Normalizada de água (NDWI) para o ano de 2020.

A Figura 3 corrobora o fato que o NDWI apresentou valores negativos para todas



as classes, com exceção da hidrografia que exibiu comportamento espectral com valores acima de zero. Verifica-se que existe uma grande confusão espectral entre as classes, isto é, um determinado valor representa mais de um alvo, como por exemplo a classe de Pastagem, cujo seu intervalo abarca também o intervalo das classes de Área Urbanizada e Mineração, entre outras.

Isso não é problema quando deseja-se delimitar somente um alvo e usa-se o indicador radiométrico correto como o NDVI para vegetações ou o NDWI para áreas construídas (LACERDA et al., 2019), contudo se o objetivo é delimitar mais de duas classes, então, a aplicação dos indicadores radiométrico deve ser substituída pela classificação supervisionada devido a melhor precisão da assinatura espectral dos alvos.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram-se eficazes quanto ao objetivo do trabalho delimitando com clareza as águas superficiais, apesar da constatação de algumas discrepâncias entre alvos captados pelo NDWI devido ao comportamento espectral semelhante. Esse método é muito útil devido a facilidade de ser aplicado em diversos eixos ambientais, além do fato de possuir baixo custo devido à gratuidade na aquisição das imagens Landsat.

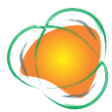
Verificou-se também que a aplicação dos índices radiométricos são de fácil validação através de visitas em campo ou fotointerpretação de imagens aéreas, contudo existem restrições a estes dois modos como o custo logístico, a presença de nuvens e a escolha cuidadosa da imagem a ser usada em função da resolução espacial.

Recomenda-se para trabalhos futuros o uso de outras imagens de satélite, com melhor resolução espacial como Sentinel-2, CBERS e Geoye, associadas a um Modelo Digital de Elevação (MDE) e ao NDWI para cálculo do volume do reservatório, assim como a determinação de indicadores externos a essa pesquisa, usando outras variáveis físicas como pluviosidade, consumo de água e escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

Realização





AGÊNCIA BRASIL. **Espuma com mais de 3 metros de altura cobre leito do Rio Tietê**. 2015. Disponível em < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-06/espuma-com-mais-de-tres-metros-de-altura-cobre-o-leito-do-rio-tiete>>. Acesso em 13 nov. 2022.

AUGUSTO, R. C.; CRUZ, C. B. M.; SEABRA, V. S.; MARTINS, J. S. Delimitação de zona ripária em planícies através do Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI) e série multitemporal Landsat. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 234-249, 2022.

CBH-AT. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Caracterização Geral | Shapefiles**. 2022. Disponível em < <https://comiteat.sp.gov.br/a-bacia/caracterizacao-geral>>. Acesso em 24 out. 2022.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório da Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**, 2020. CETESB, 2021.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. **Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jabotão dos Guararapes-PE**. Anais in... IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 9 p. Recife – PE, 2012.

GAO, B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote Sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58 (3), p. 257-266, 1996.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. **Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari**. Anais in... XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4 p., Santos – SP, 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da Federação**. IBGE, 2018.

LACERDA, G. L. B.; QUEIROGA, R. M.; SILVA, R. M. G.; SA, A. C. N.; ALVES, N. B. P.; NETO, O. R.; LOPES, G. L. Utilização de imagem SRTM para hierarquização dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio do Pires – Bahia/Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 8224, 2019.

MAPBIOMAS, PROJETO. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2020. Disponível em <<https://mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em 27 out. 2022.

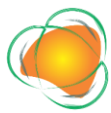
MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17: 1425-1432, 1996.

MELLO, K; TANIWAKI, R.H.; DE PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, 2020.

PEREIRA, L. E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHOS, A. C. **Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 41, n. 2, 654-662, 2018.

Realização





QGIS. QGIS DEVELOPMENT TEAM. **Comece a usar o QGIS**. 2022. Disponível em <https://qgis.org/pt_BR/site>. Acesso em : 25 out. 2022.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO. **Água, de onde vem a água que bebemos**. São Paulo: SABESP, 2022. Disponível: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=31>>. Acesso em 27 out. 2022.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO. **Portal dos Mananciais – Dados dos Sistemas Produtores**. São Paulo: SABESP, 2022. Disponível: <<https://mananciais.sabesp.com.br/HistoricoSistemas?SistemaId=0>>. Acesso em 27 out. 2022.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil da Região Metropolitana de São Paulo, Território, População e Área**. São Paulo: SEADE, 2014.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Aplicação do NDWI para avaliar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, p. 774-783, 2017.

SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A.; SIMONETTI, V. C.; TONIOLO, B. P.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Creation of an environmental sustainability index for water resources applied to watersheds. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, p. 1-21, 2022.

SONNENBERG, R. K. H.; SANTINELLI, E. O.; ANDRADE, E. L.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Análise de parâmetros de água por sensoriamento remoto para fins de aquicultura em reservatórios. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 10, p. 168-178, 2020.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Missions**. 2014. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 30 out. 2022.

VIANA, R. V. A.; NERY, L. M.; TERAMOTO, E. T.; SILVA, D. C. C. Avaliação de áreas favoráveis para a produção aquícola no reservatório de Ilha Solteira utilizando sensoriamento remoto. **GUAJU - Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**, v. 8, p. 1-21, 2022.

Realização