MAPBIOMAS ÁGUA: DINÂMICA E TENDÊNCIA DA SUPERFÍCIE DE ÁGUA NO BRASIL

Bruno Gama Ferreira[1], Carlos Moreira de Souza Jr[1], Juliano Schirmebeck[2], Eduardo Velez Martin[2], Washington Franca-Rocha[3], Soltan Galano Duverger[4], Diego Pereira Costa[4], Rodrigo Nogueira de Vasconcelos[4], Joaquim Raposo[5], Cesar Guerreiro Diniz[6], Luis Waldyr Rodrigues Sadeck[6], Mariana Dias Ramos[7], Eduardo Reis Rosa[7]

[1]Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Caixa Postal 66.055-200 – Belém –PA, Brasil, [bruno, souzajr]@imazon.org.br; [2]Geokarten Consultoria em Tecnologia da Informação Ltda, CEP 95.735-000 – Roca Sales – RS, Brasil, [shirmbeck.j, evelezmartin]@gmail.com; [3]Universidade Estadual de Feira de Santana PPGM. CEP 44.036-900 – Feira de Santana – BA, Brasil, wrocha@uefs.br; [4]Geodatin Inteligência em dados e Geoinformação, Caixa Postal 41.301-110 – Salvador –BA, Brasil, [solkan1201, costapdiego, rnvuefsppgm]@gmail.com; [5]Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, CEP 66.093-672 – Belém –PA, Brasil, [joaquim.pereira@ipam.org.br]; [6]Solved Soluções em Geoinformação, CEP 66.075-750 – Belém –PA, Brasil, [cesargdiniz, sadeckgeo]@gmail.com; [7]ArcPlan, CEP 04.026-001 – São Paulo – SP, [mariana, eduardo]@arcplan.com.br.

RESUMO

A disponibilidade de dados Landsat e a plataforma Google Earth Engine permitiram a geração de séries históricas globais de superfície de água, notavelmente o Global Surface Water (GSW) e, mais recente, o Global Surface Water Dynamics. Apesar dos avanços para o entendimento da dinâmica de superfície de água trazidos por essas bases, há desafios para a aplicação direta destes dados nas escalas de países, regional e local. Os dados não são atualizados regularmente, a integração com cadastros nacionais não é direta, e corpos hídricos de pequeno porte (1-5 hectares) não são mapeados. A iniciativa MapBiomas Água é a primeira iniciativa nacional que tem como objetivo reconstruir a série histórica de corpos hídricos do Brasil, e disponibilizar dados mensais de superfície de água, e suas transições e tendências, desde 1985. Neste estudo, apresentamos a metodologia e os resultados da Coleção 1.0 do mapeamento de superfície de água dos biomas brasileiros.

Palavras-chave **—** Superfície de Água, MapBiomas Água, Sensoriamento Remoto, Earth Engine, Subpixel.

ABSTRACT

The availability of Landsat data and the Google Earth Engine platform have enabled the generation of global historical surface water series, notably Global Surface Water (GSW) and, more recently, Global Surface Water Dynamics. Despite the advances in the understanding of water surface dynamics brought by these bases, there are challenges to the direct application of these data at country, regional and local scales. Data are not regularly updated, integration with national cadastres is not direct, and small water bodies (1-5 hectares) are not mapped. The MapBiomas Água initiative is the first national initiative that aims to reconstruct the historical series of water bodies in Brazil, and make available monthly water surface data, and their transitions and trends, since 1985. In this study, we present the methodology and results of Collection 1.0 of the water surface mapping of Brazilian biomes.

Key words **—** *Water Surface, MapBiomas Water, Remote Sensing, Earth Engine, Subpixel.*

1. INTRODUÇÃO

Como uma parte importante do ciclo da água, os corpos d'água de superfície terrestre, como rios, lagos e reservatórios, são insubstituíveis para o ecossistema global e o sistema climático [1]. O mapeamento de corpos superficiais terrestre e o entendimento da sua distribuição no espaço e no tempo são essenciais para gestão de recursos hídricos [2].

O sensoriamento remoto tem desempenhado um papel importante no estudo de ambientes aquáticos incluindo monitoramento, estimativa de recursos hídricos, avaliação de qualidade da água e zonas costeiras [3]. O *Global Surface Water (GSW)* é um valioso produto que fornece dados globais sobre a dinâmica espacial e temporal das águas superficiais em 30 anos de imagens Landsat. Mais recentemente, o laboratório GLAD da Universidade de Maryland lançou a base de dados Global Surface Water Dynamics (GSWD). As bases de dados globais preencheram uma enorme lacuna de informações sobre dinâmica de superfície de água no planeta. Contudo, há desafios para a aplicação direta destes dados nas escalas de países, regional e local. Os dados não são atualizados regularmente, a integração com cadastros nacionais não é direta, e corpos hídricos de pequeno porte (1-5 hectares) não são mapeados.

Além disso, os dados da GWS e do GSWD, por trabalharem na escala do píxel do Landsat (30m), tem limitações para detectar água em ambientes de alta complexidade espectral, com mistura de água, vegetação e solos, típicos de áreas úmidas, planícies de inundação, e em pequenas lagoas e córregos estreitos [4]. O Modelo

Espectral de Mistura (MEM) já foi testado com sucesso para mapear água em tais ambientes [2-4]. A complexidade dos ambientes dos biomas brasileiros requer a aplicação de técnicas mais sofisticadas para uma melhor detecção e caracterização dos seus ecossistemas aquáticos. Por essa razão, a iniciativa MapBiomas Água iniciou desde 2018, a trabalhar com MEM para reconstruir a série histórica de água dos biomas brasileiros. Neste estudo, apresentamos a plataforma MapBiomas Água, com suas bases de dados, funcionalidades, ferramentas e aplicações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e base de dados

A metodologia de mapeamento de superfície de água foi aplicada para os seis biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal) brasileiros, totalizando 8.516 km^2. Foi conduzido na escala de sub-píxel, com MEM. Foram aplicadas regras de classificação empíricas baseadas em lógica fuzzy e filtros temporais e espaciais para preencher lacunas de dados (devido a presença de nuvens e sombra, e ausência de observações). O mapeamento compreendeu o período de 1985 a 2021, com mais de 184.000 cenas Landsat processadas na plataforma Google Earth Engine. O processamento de cada cena Landsat permitiu reconstruir a série histórica na escala mensal. As etapas de processamento estão resumidas na figura 1 e apresentadas em detalhes abaixo.

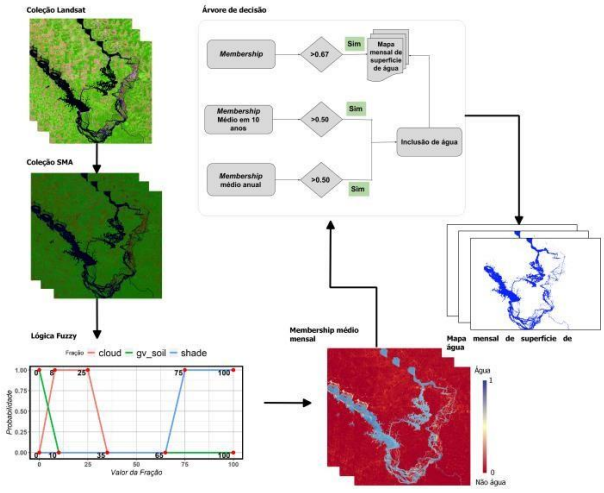


Figura 1: Fluxograma aplicado às cenas Landsat para o mapeamento de água

2.2 Pré-Processamento

Essa etapa consistiu na seleção de cenas Landsat dos sensores: Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Landsat 8 Operational Land Imager (OLI); na aplicação de máscara de nuvem e sombra em cada cena, e na exclusão de cenas com mais de 70% de cobertura de nuvens. As bandas espectrais do visível e do infravermelho próximo e médio foram selecionadas para a aplicação do MEM. O resultado do MEM é um conjunto de bandas composicionais, de cada píxel da imagem Landsat, para os componentes de Vegetação, Vegetação Não-Fotossinteticamente Ativa (VNF, no Inglês, NPV), Solo, Sombra e Nuvem. A água comporta-se como um corpo escuro (i.e., baixa reflectância) nas imagens Landsat e, por isso, apresentam alta percentagem do componente de Sombra no píxel. Borda de lagos, rios e ambientes úmidos (várzeas apresentam uma mistura de Sombra (água), Vegetação e Solo no píxel, o que permite detectar água em ambientes com estes tipos de materiais.

2.3 Classificação de superfície de água

A classificação de superfície de água foi baseada nas bandas composicionais do MEM através de regras de decisão *fuzzy*. As regras *fuzzy* são aplicadas separadamente nos componentes de Vegetação mais Solo, Sombra e Nuvem, e combinadas para gerar um *ranking de* pertinência (*membership*) na escala de zero (0, sem água) a um (1, alta concentração de água). Os mapas mensais foram obtidos combinando o mapa de *membership* do mês, decadal do mês em análise e da média anual. Para serem considerados como água a *membership* no mês deve ser >0,67, valores >0,5 de *membership* anual e decadal são considerados como pixeís de inclusão de água. Píxeis com baixa *membership* média anual (i.e., < 0,35) são excluídos. A Figura 2 ilustra o processo de classificação mensal e de estimativa de água em áreas não observadas.

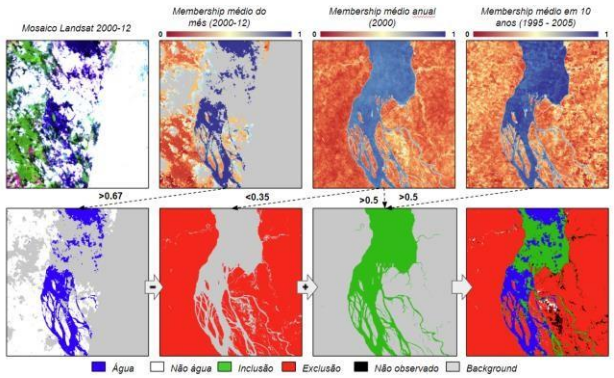


Figura 2: Exemplo de detecção e filtros de exclusão e inclusão de superfície de água.

2.3 Pós-processamento

A exclusão de ruídos do mapa se deu por um processo baseado na frequência do píxel no ano. Primeiro, segmentamos o mapa de água e adicionamos a cada objeto uma propriedade de frequência média do segmento. Em seguida, combinamos a frequência do

segmento com a frequência do píxel e informações de inclinação do terreno (*Slope)*. Dessa forma, consideramos água quando a frequência do segmento for igual ou maior que 1.8 e *Slope* maior ou igual a 20; ou se a frequência do píxel for maior ou igual a 8 e *Slope* maior ou igual a 20.

2.4. Análise de acurácia

A análise de acurácia foi conduzida para os dados de classificação anual de água utilizando os dados de referência do MapBiomas coletados pelo LAPIG/UFG (também em escala anual). As classes "Rio, Lago ou Oceano", desta base de dados, foram agrupadas na classe 'superfície de água', e as demais como 'não água'. Aplicamos um método de estratificação amostral baseado em classes de frequência de água anual, na tentativa de reduzir o erro amostral da acurácia do produtor. As classes de frequência de água foram: 1) Permanente (aparece mais de 90% no produto anual e pelo menos uma vez nos últimos três anos); 2) Intermitente (aparece com 50% a 89% de frequência no produto anual);
3) Infrequente: (aparece entre 10% e 49% de frequência no produto anual); 4) Solo: menos de 10% de frequência na série temporal; 5) 250 metros de distâncias ao próximo corpo d'água; 6) 500 metros de distâncias ao próximo corpo d'água e 7) 5.000 metros de distâncias ao próximo corpo d'água.

3. RESULTADOS

Observamos redução na superfície de água no Brasil (Figura 3), principalmente após o ano de 2000. Foram perdidos 3,1 milhões de hectares de superfície de água (15,8%) em relação a 1991, ano de maior de superfície de água na série histórica (19.621.273 ha). A série histórica apresentou flutuações anuais de superfície de água, com tendência de redução contínua a partir de 1994.

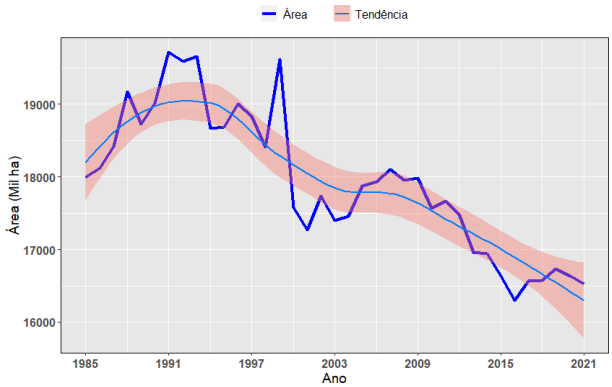


Figura 3: Dinâmica temporal da superfície de água no Brasil entre 1985-2021.

Nos biomas brasileiros, a linha de tendência de superfície de água variou (Figura 4), mas com indicação de redução em cinco biomas, exceto o Pampa, que apresenta uma tendência de aumento de superfície de água a partir de 2006. O Pantanal foi o bioma que mais perdeu superfícies de água, com uma redução de 68%, com uma tendência contínua de perda desde 1985. A Caatinga inicia a série com uma tendência de redução até 2000, com expansão até 2010. Mas, a partir de 2010, há uma tendência contínua de perda de superfície de água que chegou a -17,5% em 2021. Na Amazônia, observamos uma possível rutura de um ciclo de crescimento e redução de superfície de água de 1985 a 2000, passando para uma tendência linear de redução até 2021 (-10,4%). Na Mata Atlântica, há um mega ciclo de expansão de superfície água de 1985 a 1998, estabilizando até 2012, e passando para redução até 2021. No Cerrado, observamos dois ciclos de expansão e redução de superfície de água, sendo o primeiro de menor amplitude (1985-2000). No segundo ciclo, há uma tendência de redução de superfície de água desde 2008, aparentemente contínua até 2021. No Pampa, observamos um ciclo de expansão e redução de superfície de água de 1985 a 2006, quando atingiu menor superfície de água. A partir deste ano, o Pampa apresentou uma tendência contínua de expansão de superfície de água (Figura 4).

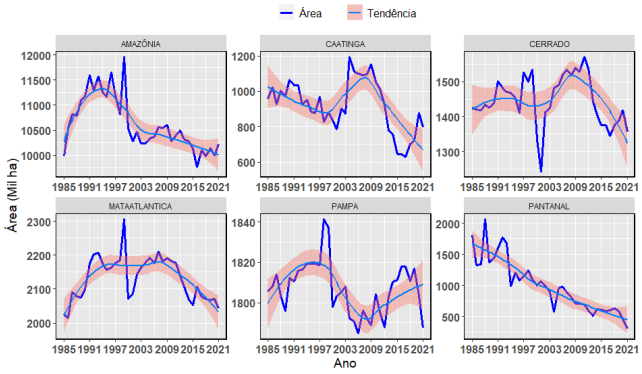


Figura 4: Dinâmica temporal da superfície de água em cada Bioma entre 1985-2021.

Os resultados da análise de acurácia foram satisfatórios. As acurácias do usuário e do produtor (Figura 5) ficaram, na maioria da série histórica, acima de 75% para o mapeamento anual de superfície de água, podendo chegar a até 90% em alguns anos. A acurácia do usuário no Pantanal ficou abaixo de 75%, e na Mata Atlântica, ficou em torno deste valor entre 1985 e 2000.

Os resultados da acurácia do produtor e do usuário são referentes a erros de omissão e comissão, respectivamente. Os dados de referência usados nessa análise não foram obtidos para o proposito de mapeamento de superfície de água. Pode haver divergências, por exemplo, entre as datas utilizadas para gerar os dados de referência e o resultado integrado de superfície de água, que não é baseado em uma única data do ano.

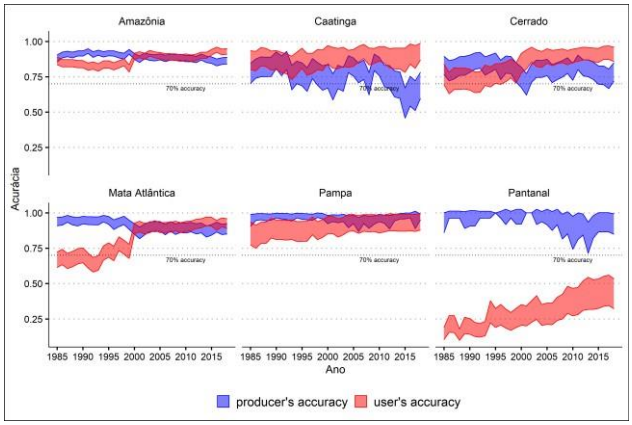


Figura 5: Acurácias do usuário e do produtor para classe "água" por bioma e por ano

4. DISCUSSÃO

A redução da superfície de água no Brasil traz uma série de consequências ao meio ambiente, para sociedade e economia do país. Há consequências para populações de peixes e a fauna aquática [4], para as funcionalidades dos ecossistemas, como as várzeas e áreas úmidas. A perda de superfície de água, principalmente em reservatórios, também causa o aumento na conta de energia elétrica. Isso porque, o Brasil tem sua produção de energia baseada majoritariamente por hidrelétricas. Em situações de déficit hídrico, a alternativa são as termoelétricas que são mais onerosas e poluem mais o meio ambiente.

Estudos apontam que a redução da superfície de água no Brasil pode estar relacionada ao uso antrópico da terra, construção de barragens, urbanização e mudanças climáticas [4]. O desmatamento é um exemplo de atividade de uso da terra que pode acelera a perda da superfície de água, em decorrência de assoreamento de rios, aumento do escoamento superficial e da evaporação. As florestas também regulam o ciclo hidrológico através da evapotranspiração. A floresta amazônica, por exemplo, funciona com uma 'bomba d'água'' e consegue, através de diferença de pressão, transportar umidade para regiões centro-oeste, sul e sudeste do Brasil, pelos chamados rios voadores [5].

A mudança climática, ocasionada pela crescente emissão de carborno, também pode ser considerada como um fator chave para redução de superfície de água no Brasil. A perturbação no ciclo hidrológico induzido pelo aquecimento do planeta aumenta o número de dias secos [6]. Estudos apontam [7] para uma irregularidade de chuvas na América do Sul, com períodos secos mais longos separando dias muito chuvosos na Amazônia e no Sudeste até o final do seculo XXI.

5. CONCLUSÕES

1. O mapeamento de água superficial na escala do sub-píxel mostrou-se consistente para mapear superfície de água, incluindo ecossistemas complexos de várzeas, pequenas lagoas, córregos e áreas úmidas;
2. Observamos redução na superfície de água no País (-15,8%) e em todos os biomas brasileiros, com destaque para o pantanal que teve perda 68%;
3. Há fortes indícios de que a perda de superfície de agua esteja relacionada à dinâmica de uso e cobertura da terra, construção de barragens e hidrelétricas, avanço na abertura de estradas, urbanização e, possivelmente como principal vetor, as mudanças climáticas;
4. A acurácia foi satisfatória para a maioria dos biomas. As flutuações anuais sazonais de superfícies de água não são capturados nos dados de referência, o que pode explicar oscilações na acurácia na série histórica.
5. Os dados de superfície de água do Brasil podem ser usados em diversas aplicações societais, visando o melhor uso e manejo dos recursos hídricos, monitoramento de riscos de secas, e políticas para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à iniciativa MapBiomas, ao Instituto Clima e Sociedade (N° do contrato: G-2008-57051) e ao *World Wildlife Fund* Brasil (WWF Brasil) pelo apoio ao estudo.

7. REFERÊNCIAS

[1] Y, Du. *et al*. Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. **Remote Sensing**, v.8, n.4, p.354, 2016.

[2] X, Young, *et al*. "Water Body Super-Resolution Mapping Based on Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis and Multiscale Spatio-Temporal Dependence. **Remote Sensing.** v.14, n.9, p.2050, 2022.

[3] H, Xie, et al. Automated subpixel surface water mapping from heterogeneous urban environments using Landsat 8 OLI imagery. **Remote sensing**. v.8, n.7, p.584, 2016.

[4] C.M, Souza, et al. Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**. v.11, n.3, p.566, 2019.

[5] N. Higuchi, et al. A floresta amazônica e a água da chuva." **Floresta**. v.41, n.3, p.427-434, 2011.

[6] W.M. JOLLY, et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature communications**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2015.

[7] MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil**. Revista USP**, n. 103, p. 25-32, 2014.