



COLEÇÃO
ESTUDOS
CARIOCAS

Volume
13

Edição
4

***Autor(a) correspondente**
evelyncastroporto@gmail.com

Submetido em 13 nov 2025

Aceito em 19 jan 2026

Publicado em 28 jan 2026

Como Citar?
COSTA, E. C. P.; VICENS, R. S.
Os wetlands do município do Rio
de Janeiro: caracterização e
regime de inundação das
paisagens pantanosas cariocas.
Coleção Estudos Cariocas, v.
13, n. 4, 2026.
DOI 10.71256/19847203.13.4.191.2025

**O artigo foi originalmente
submetido em
PORTUGUÊS. As
traduções para outros
idiomas foram revisadas e
validadas pelos autores e
pela equipe editorial. No
entanto, para a
representação mais
precisa do tema abordado,
recomenda-se que os
leitores consultem o artigo
em seu idioma original.**



Os wetlands do município do Rio de Janeiro: caracterização e regime de inundação das paisagens pantanosas cariocas

Wetlands of the Municipality of Rio de Janeiro: characterization and flooding regime of Carioca marsh landscapes

Los humedales del municipio de Río de Janeiro: caracterización y régimen de inundación de los paisajes pantanosos cariocas

Evelyn de Castro Porto Costa¹ e Raúl Sánchez Vicens²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rua Arízio Gomes da Costa, s/n - Jardim Flamboyant, Cabo Frio - RJ, ORCID 0000-0001-7648-6949, evelyncastroporto@gmail.com

²Universidade Federal Fluminense (UFF), Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº. BLOCO O, Campus da Praia Vermelha Boa Viagem – Niterói/RJ, ORCID 0000-0002-4429-806X, rsvicens@id.uff.br

Resumo

A pesquisa aborda a identificação e classificação multitemporal dos wetlands do município do Rio de Janeiro, utilizando imagens dos satélites Sentinel-1 (SAR) e Sentinel-2 (óptico) integradas por meio do algoritmo de aprendizado de máquina Random Forest. Os resultados indicam que cerca de 13% do território carioca é composto por áreas inundadas de forma permanente ou sazonal, predominantemente localizada nas áreas planícies costeiras e baías. A pesquisa evidencia a relevância ecológica dos wetlands na regulação hídrica, na biodiversidade e na mitigação das mudanças climáticas, ressaltando a necessidade de delimitação desses objetos para fins de planejamento e gestão da cidade.

Palavras-chave: áreas úmidas, random forest, regime de inundação

Abstract

This research addresses the multitemporal identification and classification of wetlands in the municipality of Rio de Janeiro, using images from Sentinel-1 (SAR) and Sentinel-2 (optical) satellites integrated through the Random Forest machine learning algorithm. The results indicate that approximately 13% of Rio de Janeiro's territory is composed of permanently or seasonally flooded areas, predominantly located in coastal plains and bays. The research highlights the ecological relevance of wetlands in water regulation, biodiversity, and climate change mitigation, emphasizing the need to delineate these areas for city planning and management purposes.

Keywords: wetlands, random forest, flood regime

Resumen

Esta investigación aborda la identificación y clasificación multitemporal de humedales en el municipio de Río de Janeiro, utilizando imágenes de los satélites Sentinel-1 (SAR) y Sentinel-2 (óptico) integradas mediante el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest. Los resultados indican que aproximadamente el 13% del territorio de Río de Janeiro está compuesto por áreas inundadas de forma permanente o estacional, ubicadas principalmente en llanuras costeras y bahías. La investigación destaca la relevancia ecológica de los humedales en la regulación hídrica, la biodiversidad y la mitigación del cambio climático, enfatizando la necesidad de delimitar estas áreas para la planificación y gestión urbana.

Palabras clave: humedales, random forest, régimen de inundaciones

1 Introdução

Os *wetlands* podem ser compreendidos, de forma mais ampla, como áreas cobertas por águas rasas (Russi *et al.*, 2013). Moore (2008) aponta que os *wetlands* ocupam 6% da superfície do mundo, estando espalhados, geralmente em pequenas manchas, em uma área muito ampla, o que contribui para sua elevada fragmentação, aumentando a sua vulnerabilidade.

O principal marco mundial para a preservação dos *wetlands* ocorreu através da Convenção de Ramsar, em fevereiro de 1971 na cidade de Ramsar, no Irã. Este ficou reconhecido como um tratado intergovernamental que entrou em vigor a partir do ano de 1975, em que fomenta a cooperação entre os países para a conservação e uso racional dos *wetlands*.

No Brasil, os *wetlands* também são popularmente conhecidos como áreas úmidas, áreas úmidas ou pântanos. Na legislação brasileira, o conceito de áreas úmidas pode ser encontrado no código florestal brasileiro, aprovado pela lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Na Lei, entende-se *wetlands* como áreas úmidas, definindo-as como “pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação (Brasil, 2012), corroborando com a conceituação internacional sobre estas ambientes.

Em 1993 o Brasil assinou o tratado da Convenção de Ramsar, formalizando sua entrada através do Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996, em que o Brasil promulga em seu arcabouço legal as diretrizes da Convenção.

No Brasil, o Decreto nº 10.141, de 28 de novembro de 2019, instituiu o Comitê Nacional das Zonas Úmidas no Brasil. Esse comitê, de caráter permanente, tem dentre os objetivos: propor ações, contribuir para o uso sustentável das áreas úmidas, sugerir e avaliar novos sítios de importância internacional, subsidiar e divulgar no Brasil na Convenção de Ramsar, dentre outros.

Junk *et al.* (2014) apontam que os *wetlands* estão presentes em cerca de 20% do território brasileiro. Os autores ainda apontam que no país, as áreas úmidas costeiras foram suprimidas ou impactadas diretamente pela expansão das cidades e em resposta às demandas por casas à beira-mar ou cênicas.

O fato de a maior parte das áreas úmidas brasileiras secarem periodicamente, diferencia o Brasil dos países com clima frio e temperado, que mostram uma alta percentagem de *wetlands* permanentemente úmidas com nível de água estável ou com solos permanentemente encharcados, tais como diferentes tipos de turfeiras (Junk *et al.*, 2014). Por isso há uma necessidade de classificação adaptada às características nacionais, com base nas peculiaridades regionais

Segundo os estudos brasileiros elaborados por Junk *et al.* (2014) e Cunha *et al.* (2014), que consideram as especificidades e características físicas do país, os *wetlands* no Brasil são considerados de acordo com a seguinte definição:

Áreas Úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica (Junk *et al.*, 2014, p. 12).

Dentre as muitas potencialidades dos *wetlands*, destaca-se sua importância no ciclo da água. O ciclo global e local da água são fortemente dependentes das áreas úmidas, sendo os *wetlands* uma parte fundamental dos ciclos hídricos, devido a sua influência por parte dos nutrientes e carbono presentes em áreas úmidas (Russi *et al.*, 2013, além de contribuírem de forma significativa para a mitigação das mudanças climáticas.

Moore (2008) destaca que existem diferentes tipos de *wetlands*, o que dificulta a definição de um conceito, entretanto, a presença da água constitui o elemento

comum a todos. Essas zonas podem ser consideradas como áreas com condições de umedecimento por alagamento permanente ou temporal, de água doce ou salgada.

Para apoiar estudos de sistemas terrestres, atualmente encontram-se disponíveis uma grande diversidade de dados, também chamados por autores da área de geoinformação como o Big (EO) Data, que correspondem ao grande volume de dados de observação terrestre. Esses dados são encontrados em grande volume, variedade e velocidade, além de possuírem grande valor e veracidade, conforme apontado por Longley *et al.* (2013).

Nesse cenário, a classificação e o mapeamento de *wetlands* a partir de dados de sensoriamento remoto configuram-se como um desafio metodológico relevante, uma vez que esses ambientes apresentam forte variabilidade temporal nas respostas espectrais ao longo do ano. As mudanças entre períodos secos e úmidos, associadas às interferências atmosféricas, dificultam a detecção precisa dessas áreas.

A classificação temática em estudos de uso e cobertura da terra deve ser continuamente debatida, uma vez que as legendas adotadas em mapeamentos oficiais nem sempre contemplam a complexidade de ecossistemas como os *wetlands*. Essa limitação reforça a necessidade de metodologias capazes de representar adequadamente sua dinâmica espaço-temporal.

Uma possibilidade metodológica que visa apoiar neste desafio são as imagens de radar, oriundas do Radar de Abertura Sintética (SAR) do satélite Sentinel-1, associadas às imagens Sentinel-2 (sensor óptico). Uma característica diferencial do método de imageamento por radar é a aquisição de dados quase que independente das condições da atmosfera, podendo ser aplicados em áreas em que a cobertura de nuvens é constante, ou ainda adquirindo informações da superfície terrestre durante períodos de intensa precipitação, sem influência de nuvens (Paradella *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2021). Essa característica favorece a construção de séries temporais contínuas, essenciais para o monitoramento das dinâmicas de inundação.

Diante desse contexto, este artigo tem por objetivo propor e avaliar uma abordagem multitemporal para a classificação dos *wetlands* no município do Rio de Janeiro, utilizando dados de sensoriamento remoto óptico e radar. Parte-se do pressuposto de que o comportamento dinâmico dos *wetlands* deve ser compreendido como uma propriedade inerente à especificidade deste objeto, considerando sua ocorrência no espaço e no tempo.

Desse modo, a pertinência dessa pesquisa se relaciona às investigações multitemporais no âmbito das técnicas de Sensoriamento Remoto, além de permitir compreender os componentes espaciais, temporais e descritivos dos *wetlands* cariocas, a fim de contribuir na sua inclusão enquanto classe temática nos estudos ambientais. Os resultados obtidos poderão subsidiar o ordenamento territorial e apoiar estratégias de conservação desses ambientes, especialmente no contexto das mudanças climáticas.

1.1 Os *wetlands* do município do Rio de Janeiro

As áreas úmidas podem agir como esponjas gigantes, absorvendo o excesso de água e liberando-a lentamente nos rios dos quais podem ser extraídas para uso em irrigação agrícola, processos industriais ou para consumo doméstico (Moore, 2008).

Por se tratar de um ambiente sensível, cabe destacar os problemas de se ocupar, intervir ou modificar as áreas úmidas sem o devido planejamento e conhecimento de sua dinâmica. Os processos de ocupação dessas áreas podem impactar diretamente nas mudanças no sistema hidrogeológico, pois muitas dessas áreas são zonas de exsudação ou recarga de aquíferos.

Além disso, o processo de impermeabilização do solo dificulta a drenagem natural da água, intensificando a ocorrência de enchentes e inundações. Além de perdas econômicas é importante mencionar o risco de contágio de doenças e até mesmo das perdas de vidas humanas que esses eventos podem causar para os moradores dessa localidade (Seabra; Rocha- Leão, 2019).

Segundo Junk *et al.* (2014), o aumento da densidade populacional e acelerada transformação nas formas de uso da terra, especialmente dos ambientes aquáticos, constituem os principais mecanismos de degradação e perda das áreas úmidas brasileiras, tais como: (1) Drenagem pela agricultura e pecuária; (2) Construção de áreas habitacionais, de infraestrutura urbana e de uso industrial; (3) Poluição por esgotos e resíduos domésticos, industriais e de mineração; (4) Construção de hidrelétricas, que inundam áreas úmidas rio acima da barragem, interrompem a conectividade longitudinal, e mudam o pulso de inundação rio abaixo; (5) Construção de hidrovias; (6) Construção de diques que interferem na conectividade lateral separando as AUs dos rios; (7) Exploração indevida dos recursos naturais (recursos pesqueiros, madeireiros e não madeireiros, e da biodiversidade); (8) Mudanças do clima global.

Junk *et al.* (2014) apontam que entre as áreas úmidas mais ameaçadas do Brasil estão os *wetlands* existentes na Mata Atlântica, no qual existem poucas informações. Esses exemplos podem ser encontrados no município do Rio de Janeiro, bastante frequentes nas paisagens de planície costeira e fluvial carioca.

Destaca-se que a presença de *wetlands* cariocas se restringem especificamente a áreas que possuem relevo mais aplainados, ou seja, nas áreas de planícies fluviomarinhas, deltaicas, aluviais, eólico-marinhas, fundos de vales e depressões. A existência de *wetlands* na área de estudos se restringe a esses recortes espaciais, pois é onde é possível manter a concentração de inundação, devido a sua baixa declividade. Além disso, em áreas de baía é bastante frequente a identificação de estuários e vegetações adaptadas à inundação, além de fauna e flora específicas.

Muitas localidades com *wetlands* no Estado do Rio de Janeiro sofreram grandes modificações nas últimas décadas, principalmente no que tange a retificação de canais para fins de crescimento urbano. Destacam-se no município do Rio de Janeiro, o entorno da baía de Guanabara os sistemas lagunares de Jacarepaguá (Figura 1) e Rodrigo de Freitas, dentre outras regiões da zona norte e oeste.



Figura 1: Exemplos de wetland localizado na Barra da Tijuca.

Fonte: Custódio Coimbra/O Globo (2012)

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudos

Segundo os dados do censo de 2022 (IBGE, 2022), o município do Rio de Janeiro possui uma população de 6.211.223 habitantes e a densidade demográfica era de 5.174,6 habitantes por km². Sendo o município com a maior população do Estado, e segundo do país.

Tendo em vista está alta complexidade, é necessário um planejamento adequado e inerente às demandas da cidade. Nesse sentido, a Lei Complementar n° 111 de 1° de fevereiro de 2011 (PCRJ, 2011), dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município e institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro e define as unidades territoriais que auxiliaram no planejamento e controle do desenvolvimento urbano do Município:

I - áreas de Planejamento – AP, estabelecidas pela divisão do território municipal a partir de critérios de compartimentação ambiental, de características histórico-geográficas e de uso e ocupação do solo; II - regiões de Planejamento – estabelecidas pelo agrupamento de Regiões Administrativas e pela subdivisão das Áreas de Planejamento e segundo critérios de homogeneidade específicas, visando apoiar a organização das informações e a integração da ação descentralizada dos órgãos municipais na implementação de políticas públicas setoriais. (PCRJ, 2011, p. 17)

As áreas de planejamento (APs) são de grande importância para levantamentos de análise ambiental, tendo em vista a sua compartimentação ambiental é possível considerar os diferentes tipos de *wetlands* presentes na paisagem carioca. Junto a ele, as regiões de planejamento também contribuirão na subdivisão do território do município em porções menores (Figura 2).

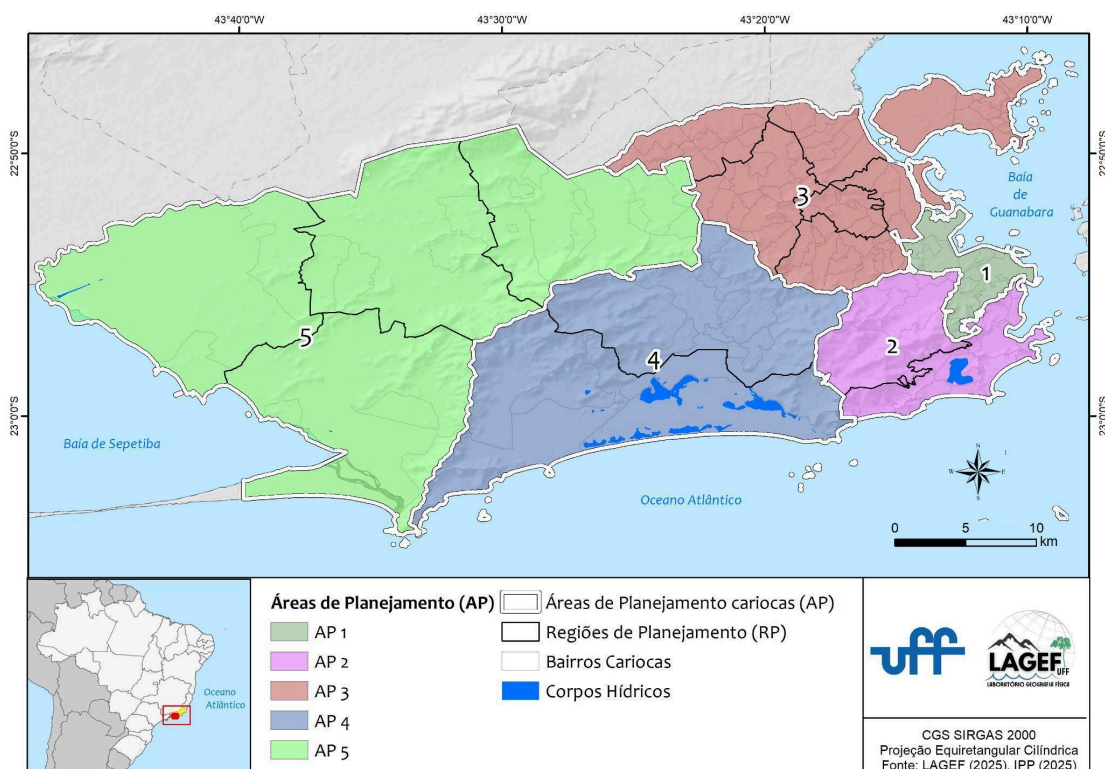


Figura 2: Localização das áreas administrativas do município do Rio de Janeiro.
Fonte: os autores (2025).

O município está dividido em cinco Áreas de Planejamento (APs): a AP-1, correspondente ao Centro; a AP-2, que abrange a Zona Sul e a Tijuca; a AP-3, composta por Ramos, Méier, Madureira, Inhaúma, Penha, Pavuna e Ilha do

Governador; a AP-4, que inclui Jacarepaguá e Barra da Tijuca; e a AP-5, formada por Bangu, Campo Grande, Santa Cruz e Guaratiba (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição das áreas (APs) e regiões de planejamento (RAs) do município do Rio de Janeiro.

AP	RP	Região de Planejamento	Área (km ²)
1	1.1	Centro	34,40
2	2.1	Zona Sul	45,27
	2.2	Tijuca	55,17
3	3.1	Ramos	15,57
	3.2	Méier	30,35
	3.3	Madureira	46,08
	3.4	Inhaúma	13,84
	3.5	Penha	24,52
	3.6	Pavuna	31,67
	3.7	Ilha do Governador	41,45
4	4.1	Jacarepaguá	120,23
	4.2	Barra da Tijuca	173,56
5	5.1	Bangu	116,63
	5.3	Santa Cruz	164,08
	5.4	Guaratiba	152,58
	5.2	Campo Grande	138,76

Fonte: Instituto Pereira Passos (2025).

A Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011(PCRJ, 2011) também reforça a importância da conservação dos ambientes úmidos no planejamento territorial e ambiental do município. O Art. 172, destaca a necessidade de proteger os recursos hídricos, o inciso V, destaca como necessidade “proteger áreas lindeiras dos cursos d’água nas intervenções municipais de uso do solo, de forma a resguardar os locais inundáveis e preservar as matas úmidas de baixadas inundáveis” (PCRJ, 2011, p. 66).

Já o Art. 178 (PCRJ, 2011), orienta a promoção de reflorestamentos ecológicos voltados à restauração da Mata Atlântica e de ecossistemas associados, incluindo as áreas úmidas e brejosas. O inciso I deste artigo, destaca “promover a implantação e a manutenção de reflorestamentos ecológicos visando a restauração da Mata Atlântica e ecossistemas associados e as áreas úmidas e brejosas” (PCRJ, 2011, p. 69).

Essas diretrizes evidenciam o papel estratégico dos *wetlands* para o município, pois estes ambientes atuam na regulação do regime hídrico, na recarga de aquíferos, na retenção de sedimentos e na manutenção da biodiversidade, para garantir a sustentabilidade ambiental e a segurança hídrica da cidade, especialmente diante dos desafios impostos pela urbanização e pelas mudanças climáticas.

2.2 Sensoriamento remoto multissensor e aprendizado de máquina

O mapeamento e a classificação de *wetlands* por meio do sensoriamento remoto têm sido amplamente discutidos na literatura, sobretudo em ambientes tropicais e costeiros, onde a elevada variabilidade espaço-temporal e a frequente cobertura de nuvens impõem desafios metodológicos significativos. Nesse contexto, tem sido destacada a integração de sensores de características diferentes como estratégia para representar a dinâmica hidrológica e ecológica desses ambientes.

Os dados de Radar de Abertura Sintética (SAR) da missão Sentinel-1, apresentam reconhecida aptidão para o monitoramento de áreas úmidas, uma vez que o retroespalhamento radar é sensível à presença de água livre, à umidade do solo e à estrutura da vegetação. Em regiões costeiras brasileiras e áreas de Mata Atlântica, caracterizadas por regimes sazonais de inundação e alta nebulosidade, o uso de imagens SAR tem se mostrado fundamental para a detecção de áreas periodicamente alagadas e para o acompanhamento de eventos hidrológicos extremos (Paradella *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2021; Slagter *et al.*, 2020).

A resolução temporal da constelação Sentinel-1, de 10 metros, permite a construção de séries temporais densas, aspecto relevante em *wetlands* tropicais, nos quais a alternância entre períodos secos e úmidos ocorre de forma rápida e irregular. Estudos aplicados ao território brasileiro indicam que essa característica favorece a identificação de padrões dinâmicos de inundação, difíceis de serem captados por sensores ópticos isoladamente (Junk *et al.*, 2014; Mahdianpari *et al.*, 2018).

Por sua vez, as imagens ópticas do Sentinel-2 desempenham papel complementar essencial, sobretudo na discriminação espectral da vegetação associada aos *wetlands* e na diferenciação entre tipos de cobertura da terra. Trabalhos realizados em áreas costeiras e em biomas tropicais demonstram que as bandas do visível e do infravermelho próximo e de ondas curtas são eficazes para identificar variações fenológicas, gradientes de umidade e respostas da vegetação a regimes de inundação (Jamali *et al.*, 2021; Slagter *et al.*, 2020).

Jamali *et al.* (2021) aponta que apesar dos excelentes resultados obtidos a partir de dados ópticos, uma metodologia sinérgica desenvolvida com base na integração de dados SAR do Sentinel 1 e dados ópticos do Sentinel 2 foi mais eficiente para o mapeamento de áreas úmidas no Canadá (Mahdianpari *et al.*, 2019) e África do Sul (Slagter *et al.*, 2019). Dessa forma, a integração entre Sentinel-1 e Sentinel-2 tem sido apontada como uma abordagem híbrida robusta para o mapeamento de áreas úmidas, ao combinar a estabilidade dos dados SAR frente às condições atmosféricas com o detalhamento espectral dos sensores ópticos.

Associada a essa abordagem multissensor, a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina tem ampliado significativamente o potencial analítico das séries temporais de imagens orbitais. Entre esses algoritmos, o Random Forest destaca-se na literatura por sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados, integrar múltiplas variáveis e reduzir problemas de sobreajuste, apresentando elevado desempenho em estudos de classificação de uso e cobertura da terra (Breiman, 2001; Belgiu; Drăguț, 2016).

A análise de séries temporais de imagens e os métodos de aprendizado de máquina têm sido amplamente utilizados para classificação de uso e cobertura da terra e detecção de mudanças com bons resultados (Maus *et al.*, 2016). Em aplicações voltadas ao mapeamento de *wetlands*, o Random Forest tem sido empregado em contextos tropicais, costeiros e de elevada heterogeneidade ambiental, incluindo áreas de Mata Atlântica e zonas úmidas brasileiras. Estudos indicam que o algoritmo é particularmente eficiente para capturar padrões não lineares associados à dinâmica hidrológica, além de permitir a avaliação da importância relativa das variáveis espectrais, temporais e de retroespalhamento radar utilizadas no processo de classificação (Cutler *et al.*, 2012; Mahdianpari *et al.*, 2018; Jamali *et al.*, 2021).

Dessa forma, a integração entre dados SAR do Sentinel-1, imagens ópticas do

Sentinel-2 e o algoritmo de classificação Random Forest se insere em uma tendência na literatura internacional e nacional, especialmente em estudos voltados ao mapeamento e à caracterização de *wetlands* em ambientes tropicais e costeiros. Essa abordagem tem se mostrado particularmente adequada para representar a natureza dinâmica desses ecossistemas, contribuindo para sua melhor inclusão como classe temática em estudos ambientais e de ordenamento territorial.

2.3 Classificação de imagens ópticas e SAR utilizando Random Forest

A execução das etapas de pré-processamento e classificação de imagens orbitais ocorreu através das cenas obtidas e processadas pela plataforma digital Google Earth Engine (GEE)¹. O GEE é uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem para monitoramento e análise ambiental em grande escala, que fornece acesso a petabytes de imagens de sensoriamento remoto, permite o processamento paralelo de algoritmos de aprendizado de máquina e conta com uma biblioteca de Interfaces de Programação de Aplicativos (APIs) com ambientes de desenvolvimento que suportam linguagens de codificação populares, como JavaScript e Python (Tamiminia, 2020).

Carvalho Júnior (2018) destaca o amplo uso de imagens de sensoriamento remoto, tanto ópticas quanto de radar, na detecção da superfície d'água. O autor também discute o potencial do processamento em nuvem, o uso de imagens com alta resolução temporal e o desenvolvimento de novos algoritmos para a classificação de áreas inundáveis. Há uma grande quantidade de trabalhos no Brasil, que utilizam imagens SAR na classificação de áreas inundáveis, ou também chamadas de áreas úmidas, principalmente em biomas como Amazônia e Pantanal, tais como vistos em Magalhães (2022), Cardoso (2023), Silva (2020) e Teixeira (2011).

Pesquisas em outros continentes, também reforçam o uso de imagens SAR na classificação de *wetlands*. Entretanto, Jamali *et al.* (2021) apontam que apesar dos excelentes resultados obtidos a partir de dados ópticos, uma metodologia sinérgica desenvolvida com base na integração de dados SAR do Sentinel 1 e dados ópticos do Sentinel 2 foi mais eficiente para o mapeamento de áreas úmidas no Canadá (Mahdianpari *et al.*, 2019) e África do Sul (Slagter *et al.*, 2019).

Desse modo, como metodologia para a classificação dos *wetlands*, foi adotado o algoritmo de aprendizado de máquina (*machine learning*) Random Forest, associado às séries temporais Sentinel-1 (sensor SAR) e Sentinel-2 (sensor MSI). Ressalta-se que foi realizada uma classificação multitemporal, considerando períodos secos e úmidos, a fim de dar maior acurácia à classe temática a ser mapeada.

Foi adotado para esta pesquisa o período de 2019 a 2021, para ser possível mapear diferenças interanuais, considerando anos de maior e menor pluviosidade, sem interrupções estacionais. Dessa forma, foi considerando o pulso de inundação interestações, com o objetivo de não haver perdas na compreensão dessa dinâmica. Esses dados podem contribuir para identificar os pulsos de inundação dos *wetlands*, de acordo com a umidade e sua persistência durante diferentes épocas do ano e apoiar na escolha das séries temporais a serem classificadas.

No GEE, foram elaborados dois scripts separados, o primeiro para classificação das imagens SAR e o segundo para classificação de imagens ópticas. Dessa forma, no primeiro script foram atribuídas à coleção de imagens Sentinel-1 (que correspondem as imagens da missão Sentinel-1A e Sentinel-1B) do tipo GRD (Ground Range Detected /Detecção de Alcance Terrestre), considerando as seguintes características para filtragem da coleção: o modo de Faixa Interferométrica Ampla/ Interferometric Wide Swath (IW); a órbita de passagem “Descendente”; a resolução espacial de “10 metros”; e a seleção de polarizações “VH e VV”. Além de filtragem

¹Os scripts utilizados no Google Earth Engine (GEE) foram elaborados antes da alteração nas políticas de acesso à plataforma, que entrou em vigor em 13 de novembro de 2024. A partir dessa data, todos os usuários, inclusive aqueles com projetos de natureza não comercial, passa a se tornar obrigatório a criação de um projeto vinculado ao Google Cloud Platform para acessar o GEE.

por localização, data de início e fim, bem como, uma filtragem espacial para redução do ruído speckle, com filtro Lee de janela 3x3 (Lee, 1980).

No segundo script foram utilizadas séries temporais do Sentinel-2, cujo principal desafio é a interferência atmosférica, especialmente a presença de nuvens, frequente em regiões tropicais e intensificada nos meses mais chuvosos do verão. Para contornar esse problema, adotaram-se duas estratégias: i) filtragem de imagens com até 40% de cobertura de nuvens e ii) aplicação de uma máscara para remoção das áreas afetadas. Outro fator que dificultou a classificação foi a presença de áreas íngremes, como morros e montanhas, além de sombras, que foram equivocadamente identificadas como *wetlands* devido à alta absorção espectral. Para corrigir essas inconsistências, incorporou-se uma máscara de declividade obtida a partir do modelo digital de elevação da Missão Topográfica de Radar Embarcado (SRTM) versão 3.0 (SRTM Plus), evitando que terrenos íngremes fossem incluídos no mapeamento. Além disso, foi incorporado ao script o cálculo de métricas voltadas à obtenção da mediana das bandas Azul (B02), Verde (B03), Vermelho (B04) e Infravermelho Próximo (B08), bem como do índice NDWI, para a geração dos composites mensais.

Ambos os scripts, referentes às séries temporais do Sentinel-1 e Sentinel-2, foram submetidos aos mesmos procedimentos de processamento, visando criar melhores condições para a construção de composites mensais que representassem a média dos pixels sem nuvens de cada mês. O uso de composites, amplamente empregado em séries temporais, permite sintetizar a informação de múltiplas imagens em uma única, otimizando a análise em áreas extensas (Griffiths et al., 2019).

Para a etapa de amostragem, foram utilizadas amostras binárias (0 = não *wetlands* e 1 = *wetlands*), abrangendo a diversidade de tipos existentes na área de estudo. A classificação foi realizada no Google Earth Engine (GEE) por meio do algoritmo Random Forest (RF), configurado com 500 árvores de decisão e número de nós ilimitado, utilizando 4.901 amostras representativas de classes invariantes entre 2019 e 2021.

Após as classificações das imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 terem sido realizadas separadamente, foi necessário realizar uma série de processamentos estatísticos com os dados gerados, a fim de unificar os dados produzidos e realizar análises espaciais e estatísticas com as classificações. Nesse sentido, foi utilizado a linguagem R para promover uma interseção entre as classificações mensais realizadas pelos sensores. Por fim, foi realizada uma segmentação temporal das classificações, a fim de obter resultados sobre a trajetória sequenciada dos *wetlands*. Essa segmentação foi de suma importância para identificar o regime de inundação dos *wetlands*, de modo ininterrupto, e compreender os padrões sazonais dos regimes de inundação.

Para a validação do mapeamento foi adotado a metodologia por amostragem aleatória e estratificada, na plataforma GEE, denominada AREA2. Esse desenho amostral oferece a opção de controlar o tamanho da amostra em classes que ocupam uma pequena proporção da área para reduzir os erros padrão das estimativas de precisão específicas da classe (Olofsson et al., 2014). Logo, o desenho amostral aleatório estratificado adotado, considerou a quantidade de amostras de acordo com a sua extensão territorial na área de estudos.

3 Resultados e discussões

3.1 Regime de inundação

As classificações do sensor radar e óptico foram unificadas e validadas em conjunto. A partir do resultado obtido através da validação do mapeamento (Tabela 2) é possível destacar o excelente desempenho do mapeamento de *wetlands* localizados no Estado do Rio de Janeiro. Através da matriz de erro gerada pela

validação do mapeamento se torna possível analisar que a o erro de comissão foi maior que o erro de omissão, e que no geral, o mapeamento obteve um resultado bastante expressivo na sua validação.

Tabela 2: Matriz de erro da classificação de *wetlands* utilizando imagens Sentinel 1 e Sentinel 2.

Classificação S1 + S2	Classificação/Modelo			Total
	Classes	Wetland	Não Wetland	
Referência/ Verdade Terrestre	Wetland	112	28	140
	Não Wetland	4	96	100
	Total	116	124	240

Fonte: os autores (2025)

Os erros de comissão se referem a classificação errônea de água em áreas de sombras. Dentre os 240 pontos de validação, apenas 32 foram classificadas equivocadamente, sendo 28 por erros de omissão e 4 por erros de comissão. Esse resultado sinaliza poucos erros de comissão e omissão na classificação.

Os erros estiveram presentes nas áreas de sombra e afloramento rochoso, que foram classificados equivocadamente como *wetlands*, configurando como erro de comissão. Esse erro esteve presente em alguns pontos de validação devido a escala do mapeamento e a escala da máscara de declividade utilizada para a classificação, pois, a declividade utilizada foi extraída do modelo digital de elevação SRTM, que possui declividade de 30 metros, enquanto a classificação foi realizada com base em imagens de 10 metros de resolução espacial. Logo, houve alguns ruídos na classificação, devido a essa inconsistência de escala.

Já os erros por omissão, se configuram como áreas planas que deveriam ter sido classificadas como *wetlands* e não foram. Esse ruído pode ter sido reflexo dos padrões utilizados na classificação, bem como, os índices espectrais que apoiaram a classificação. Entretanto, ressalta-se que esses erros de omissão foram considerados baixos e pouco expressivos para o resultado da validação, que obteve bons valores de desempenho.

Em relação às métricas, a validação do mapeamento apontou bons resultados de desempenhos com uma acurácia de 0,87. A acurácia do produtor, associado ao erro de omissão, alcançou 0,8, enquanto a acurácia do usuário, associada ao erro de comissão, alcançou um valor de 0,97. E o F-score atingiu 0,88, que é considerado alto quanto mais próximo de 1 e se refere ao desempenho da validação. Enquanto o IoU, que se refere a sobreposição da área classificada como a verdade terrestre, alcançou um valor alto, de 0,78 (Tabela 3).

Tabela 3: Resultados da validação da classificação final de *wetlands*

Métricas de validação	Validação da Classificação
Acurácia Total (Overall accuracy)	0,87
Índice Kappa	0,73
Acurácia do Produtor (Precision/Omissão)	0,80
Acurácia do Usuário (Recall/Comissão)	0,97
F-score	0,88
IoU	0,78

Fonte: os autores (2025)

O *Kappa* é um indicador desenvolvido por Landis e Koch (1977) que pode ser definido como uma medida de associação usada para descrever e testar o grau de concordância, ou seja, confiabilidade e precisão na classificação. O Índice *Kappa* do mapeamento apresentou resultado de 0,73. Esse valor dentro da escala do índice é considerado um resultado de classificação muito bom, corroborando para a sua implementação em pesquisas no âmbito ambiental.

A demanda por utilizar ambas as séries temporais ocorreram devido ao desempenho complementar entre as mesmas, tendo em vista que as imagens de radar apresentaram excelente desempenho para espelhos d'água, enquanto as imagens óticas obtiveram êxito na classificação de áreas com vegetação e umidade. Outro aspecto que deve ser mencionado para a escolha do Sentinel-2 (óptico), juntamente com o Sentinel-1 (radar) se refere a possibilidade de alcançar uma resolução espacial de 10 metros, tendo em vista as possibilidades de uso e as características de ambos os sensores, bem como, a ampla resolução temporal de ambas, permitindo uma análise mais completa para o fenômeno que é dinâmico e varia de cobertura em um curto espaço-tempo.

A classificação final permite analisar a dinâmica espaço-temporal dos *wetlands* cariocas, ou seja, com dados referentes ao regime de inundação das paisagens inundáveis localizadas no município do Rio de Janeiro (Figura 3). Estima-se que 13% do território carioca seja coberto por áreas úmidas, também denominado como *wetlands*. Esse percentual é bastante considerável, e está prioritariamente localizado na porção costeira do município, em áreas de planícies associadas às baías, lagoas e estuários, apresentando variações significativas nos períodos e frequências de inundação.

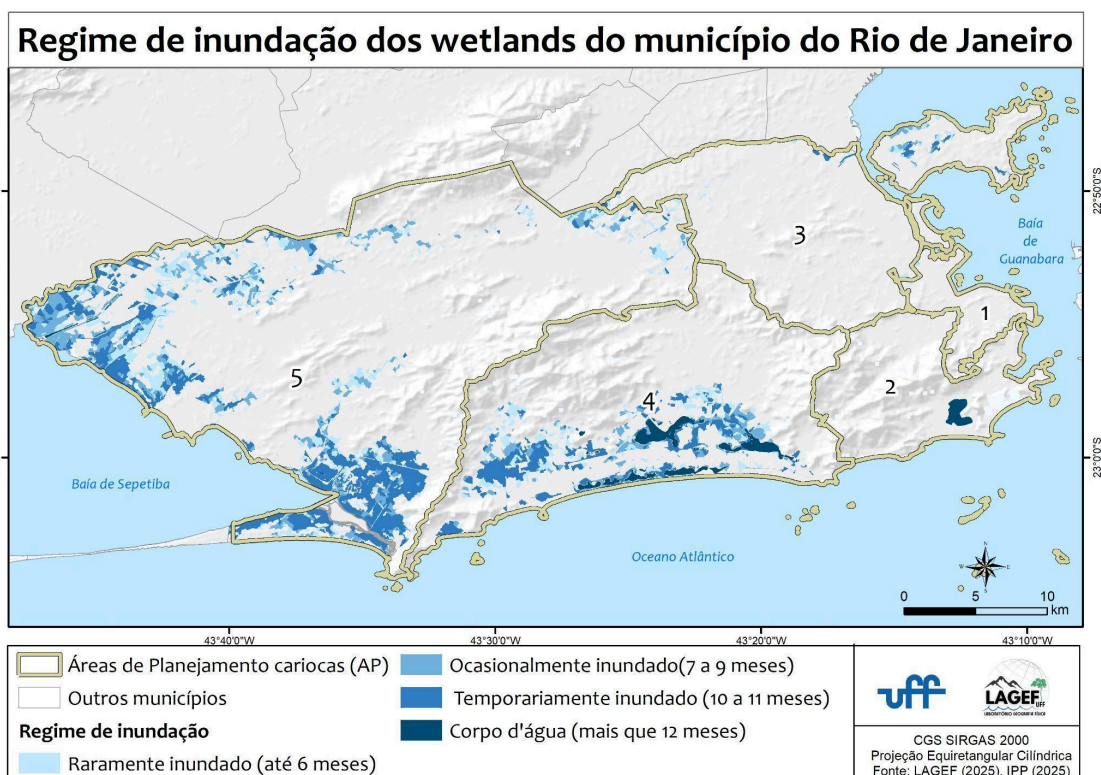


Figura 3: Regime de inundação dos *wetlands* cariocas.
Fonte: os autores (2025)

Em relação ao regime de inundação, conforme adaptado de Costa (2025), observa-se uma clara graduação espacial: as áreas permanentemente inundadas estão cercadas por faixas temporariamente inundadas, seguidas pelas ocasionalmente e raramente inundadas, que se distribuem nas porções mais

afastadas. As áreas temporariamente inundadas representam a maior extensão, totalizando 5,79% do território municipal, seguidas pelas raramente inundadas (3,73%) e ocasionalmente inundadas (3,42%). Os corpos d'água permanentes, que englobam lagoas, canais e trechos de rios, somam menos que 1% da paisagem, configurando os núcleos mais estáveis do sistema hídrico (Tabela 4).

Tabela 4: Quantificação do regime de inundação dos *wetlands* do município do Rio de Janeiro.

Classes	Área (km ²)	%
Raramente inundado (até 6 meses)	44,96	3,73
Ocasionalmente inundado (7 a 9 meses)	41,17	3,42
Temporariamente inundado (10 a 11 meses)	69,69	5,79
Corpo d'água (36 meses)	10,56	0,88
Área total de <i>wetlands</i>	166,37	13,82
Área total de outras coberturas	1.037,78	86,18
Área total do município	1.204,15	100,00

Fonte: os autores (2025)

Esses resultados evidenciam que as paisagens inundáveis do Rio de Janeiro se organizam em um mosaico dinâmico de sazonalidade. A predominância de áreas temporária e ocasionalmente alagadas reforça o papel dos *wetlands* como zonas de transição entre os ambientes aquáticos e terrestres, fundamentais para o controle do escoamento superficial, a recarga hídrica e a manutenção da biodiversidade local.

Por se tratar de um fenômeno que tem sua ocorrência limitada a fatores como umidade, os *wetlands* são considerados sistemas terrestres dinâmicos, principalmente se tratando de áreas tropicais como o Rio de Janeiro, que possui uma grande amplitude térmica ao longo do ano. Moore (2008) destaca que os *wetlands* são ecossistemas dinâmicos que estão em constante estado de mudança. Nesse sentido, a ocorrência dos *wetlands* se condiciona a uma temporalidade dinâmica dos sistemas terrestres.

3.2 *Wetlands* por Área de Planejamento

A quantificação dos *wetlands* nas diferentes Áreas de Planejamento (APs) do município aponta variações em extensão e regime de inundação. As maiores proporções de *wetlands* concentram-se nas AP5 (19,1%) e AP4 (16,2%), seguidas pelas AP3 (3,2%), enquanto as AP1 e AP2 apresentam participação pouco significativa, com 1,6% e 2,1% da área total, respectivamente (Tabela 5). Essa distribuição evidencia o predomínio das paisagens pantanosas e sistemas aquáticos nas porções costeiras e baixas do território, especialmente nas planícies associadas às baías e sistemas lagunares.

Tabela 5: Classes do regime de inundação por Áreas de Planejamento Cariocas

Classe	AP 1		AP 2		AP 3		AP 4		AP 5	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Raramente inundado (até 6 meses)	0,5	1,3	-	-	2,6	1,3	11,4	3,9	30,4	5,3
Ocasionalmente inundado (7 a 9 meses)	0,1	0,2	-	-	1,8	0,9	8,9	3,0	30,3	5,3
Temporariamente inundado (10 a 11 meses)	0,0	0,1	0,1	0,1	2,1	1,0	19,0	6,5	48,2	8,4
Corpo d'água (maior que 12 meses)	-	-	2,0	2,0	0,0	0,0	8,2	2,8	0,3	0,0
Total de <i>wetlands</i>	0,6	1,6	2,1	2,1	6,6	3,2	47,6	16,2	109,1	19,1
Não <i>wetland</i>	33,8	98,4	98,3	97,9	196,9	96,8	246,2	83,8	462,9	80,9
Área Total AP	34,4	100,0	100,4	100,0	203,5	100,0	293,8	100,0	572,0	100,0

Fonte: os autores (2025)

No que se refere aos tipos de paisagens pantanosas existentes, observam-se *wetlands* de diferentes gêneses e características físicas. Nas faixas marginais das APs e áreas de baía, principalmente situados nas AP3 e AP5, predominam *wetlands* costeiros, caracterizados por vegetação de mangue e formações de restinga, adaptadas às variações de salinidade e ao regime de marés. Essas áreas são representativas de ecossistemas de transição entre o ambiente terrestre e o marinho, com função essencial na retenção de sedimentos e na proteção da linha de costa.

Na AP5, destaca-se a presença da Baía de Sepetiba (Figura 4), que abriga extensos sistemas estuarinos e manguezais, fundamentais para a manutenção da produtividade biológica e para o equilíbrio hidrológico da região. Na AP3, sobressaem as áreas de manguezal localizadas às margens da Linha Vermelha, especialmente nas proximidades da Ilha do Fundão, representando remanescentes significativos de ecossistemas costeiros em meio ao tecido urbano consolidado.



Figura 4: *Wetlands* presentes nas faixas marginais e áreas de baías, em Guaratiba.
Fonte: Oeco/Inea (2011).

Nas APs 1, 2 e 3, foram identificadas poucas áreas de *wetlands*, reflexo da intensa urbanização e das intervenções hidráulicas que alteraram a dinâmica natural de inundação. Ainda assim, é comum a ocorrência de enchentes durante períodos de fortes chuvas, sobretudo nas AP1 e AP3, onde extensas planícies fluviais conectam-se à Baixada Fluminense e apresentam histórico de canalização e retificação de corpos hídricos.

Na AP2, destaca-se a Lagoa Rodrigo de Freitas como o principal corpo d'água natural ainda preservado, enquanto os demais rios encontram-se canalizados e com baixa ou nenhuma incidência de regime de inundação natural. Essa situação evidencia o grau de antropização das áreas centrais e de média encosta do município, onde a expansão urbana reduziu significativamente a presença e a funcionalidade ecológica das *wetlands*.

Nas áreas de planícies de inundação situadas nas porções de baixadas nas diferentes APs, principalmente em áreas da zona norte e oeste, identificam-se *wetlands* fluviais, formados em áreas periodicamente alagadas e cobertas por vegetação herbácea e arbustiva adaptada ao encharcamento de água sazonal. Nesses ambientes, predominam as classes temporariamente e ocasionalmente inundadas, totalizando 27,9 km² (9,5% da área da AP4), o que reflete o comportamento sazonal do regime hidrológico local.

Já nas áreas em que se desenvolvem os extensos sistemas lagunares da Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Marapendi (AP4) (Figura 5), observa-se uma expressiva predominância de *wetlands* raramente, ocasionalmente e temporariamente inundados, que juntos totalizam 47,3 km², correspondendo a cerca de 16,1% da área da AP4. Além disso, destacam-se os corpos d'água permanentes, que somam 8,2 km² (2,8%), evidenciando a importância hidrológica e ecológica desses complexos lagunares. Essas regiões apresentam uma rica vegetação hidrófila, incluindo macrófitas aquáticas, junco, taboas (*Typha domingensis*) e gramíneas adaptadas ao alagamento, além de zonas de transição com restingas herbáceas e arbustivas. A flora contribui para a manutenção da qualidade da água, atuando na

filtração de nutrientes e retenção de sedimentos, enquanto a fauna local é composta por aves aquáticas, peixes, anfíbios e répteis que utilizam essas áreas como abrigo, reprodução e alimentação.

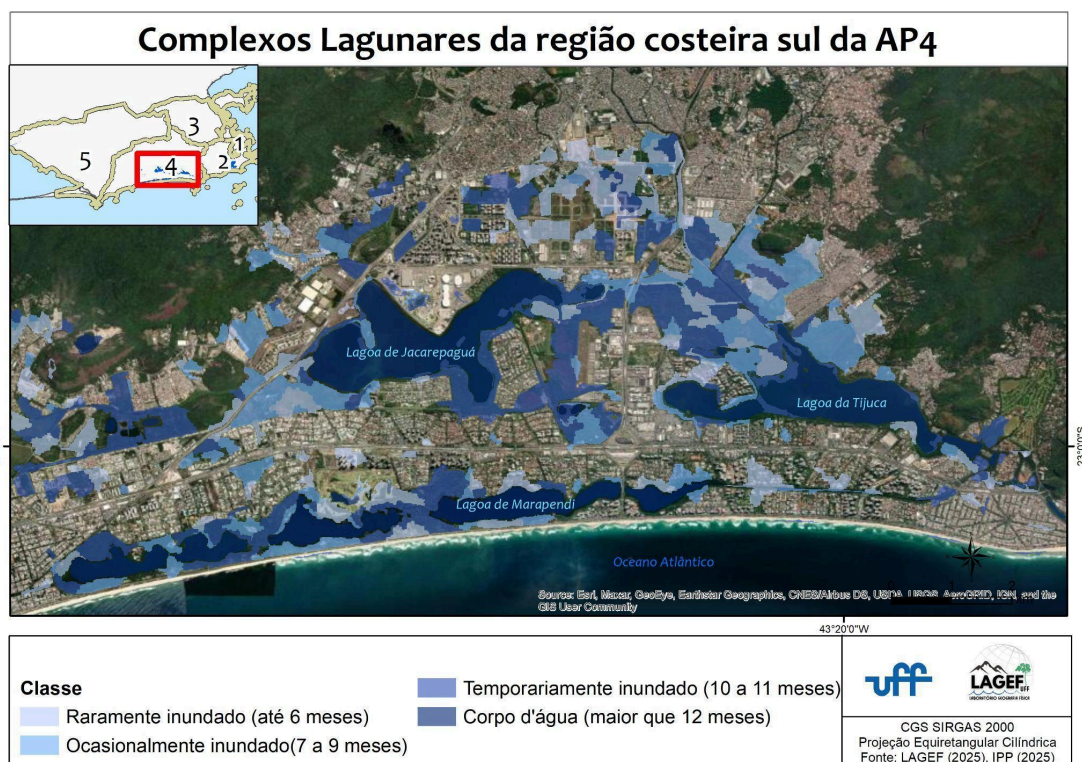


Figura 5: Detalhamento do regime de inundação na AP4 , destacando os complexos lagunares da região costeira.

Fonte: os autores (2025).

Apesar de seu alto valor ecológico, os complexos lagunares da AP4 vêm sofrendo pressões crescentes do crescimento urbano, associadas à expansão imobiliária, aterros irregulares, canalização de rios e lançamento de efluentes domésticos e industriais. Esses processos têm promovido o assoreamento, a redução das áreas alagáveis e o comprometimento da qualidade da água, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e as espécies dependentes desses ambientes. Assim, as *wetlands* da região da Barra configuram um dos sistemas úmidos mais representativos e, ao mesmo tempo, mais vulneráveis do município do Rio de Janeiro, demandando estratégias urgentes de gestão ambiental e recuperação ecológica.

Essa diversidade de tipologias de *wetlands* ressalta a importância ecológica desses ambientes no equilíbrio hidrológico, na manutenção da biodiversidade e na dinâmica paisagística da cidade do Rio de Janeiro. Inseridos na interface entre o crescimento urbano e econômico exponencial das últimas décadas e a complexidade do regime de inundação das áreas naturais, esses ecossistemas vêm sendo pressionados por processos de ocupação desordenada, aterros, impermeabilização do solo e alterações no fluxo hídrico natural. A sobreposição entre as zonas de expansão urbana e as planícies inundáveis evidencia a necessidade de integrar o planejamento urbano e a conservação das áreas úmidas, de modo a garantir a resiliência ambiental e a função ecológica desses sistemas frente às transformações do território carioca.

4 Conclusão

Os resultados demonstram que os *wetlands* estão amplamente distribuídos nas paisagens cariocas, com ocorrência fortemente associada às planícies costeiras, fluviais, lagunares e de baía. Essa distribuição evidencia a relação desses ambientes com a dinâmica geomorfológica e hidrológica do município do Rio de Janeiro. O mapeamento considerando o regime sazonal de inundação permitiu delimitar com maior precisão esses ambientes nos mapas temáticos, evidenciando sua relevância ecológica e funcional.

A presença expressiva de áreas úmidas reforça sua importância na regulação hidrológica, na recarga de aquíferos e na manutenção da biodiversidade, além de sua contribuição para a mitigação de riscos associados a eventos extremos, desempenhando serviços ecossistêmicos essenciais diante dos crescentes impactos da urbanização e das mudanças climáticas.

A integração de dados SAR e ópticos mostrou-se eficaz na identificação das variações sazonais de inundação, comprovando o potencial das técnicas de sensoriamento remoto e aprendizado de máquina para o mapeamento e monitoramento contínuo dos ambientes úmidos em escala municipal. A abordagem metodológica adotada permitiu ampliar a precisão, a consistência e a representatividade dos mapeamentos temáticos, contribuindo para a compreensão da dinâmica espaço-temporal dos *wetlands* no território carioca.

Diante desse cenário, ressalta-se a necessidade de incorporar os *wetlands* nas políticas de ordenamento territorial e planejamento urbano do município do Rio de Janeiro. O monitoramento desses ecossistemas pode ser considerado como estratégias prioritárias de adaptação climática, considerando os múltiplos serviços ambientais e sociais que esses ambientes oferecem à sociedade.

Um dos principais desafios na classificação de imagens com esse nível de detalhamento está relacionado à presença de ruídos e à necessidade de compatibilizar os resultados com a escala cartográfica de análise. Nesse contexto, os mapeamentos desenvolvidos por esta pesquisa foram disponibilizados em escala compatível de até 1:50.000, adotando-se 1 hectare como área mínima mapeável, de modo a garantir maior consistência espacial e reduzir efeitos de fragmentação excessiva.

Outro desafio enfrentado na classificação híbrida refere-se às limitações impostas pelo uso de imagens ópticas com resolução espacial de 10 metros, o que restringiu a aplicação a um único índice radiométrico (NDWI) e ao uso de bandas situadas exclusivamente nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo. Essa restrição decorreu da necessidade de integrar dados de diferentes sensores, como os ópticos (MSI) e os de radar (SAR), de forma combinada, respeitando a resolução espacial original de ambos, fixada em 10 metros.

Como desdobramentos da pesquisa, destacam-se perspectivas relevantes para o aprofundamento do conhecimento e da gestão dos *wetlands*. Uma delas consiste na análise da conectividade espacial entre esses ambientes, visando identificar áreas mais vulneráveis à fragmentação, bem como aquelas com potencial para a formação de corredores ecológicos, essenciais para a manutenção da biodiversidade e dos fluxos ecológicos. Outra possibilidade refere-se à análise e quantificação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas diferentes tipologias de *wetlands*, como o sequestro e o estoque de carbono, que desempenham papel fundamental no enfrentamento das mudanças climáticas. Além disso, a aplicação operacional do modelo proposto pode contribuir para o monitoramento contínuo desses ambientes, otimizando as ações de gestão ambiental e subsidiando processos de tomada de decisão no planejamento territorial.

Referências

- BELGIU, M.; DRAGUT, L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 114, p. 24-31, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>;
- BRASIL. Código Florestal Brasileiro - Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 16 jul. 2020.
- BRASIL. Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996. Promulga a Convenção Relativa às Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas (Convenção de Ramsar), de 2 de fevereiro de 1971. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 mai. 1996.
- BRASIL. Decreto nº 10.141, de 28 de novembro de 2019. Dispõe sobre a implementação da Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas (Convenção de Ramsar), e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 nov. 2019.
- BRASIL. Recomendação CNZU n.º 07, de 11 de junho de 2015. Brasília, DF. 2015. Disponível em <https://antigo.mma.gov.br/comunicacao/item/10872-comit%C3%AA-nacional-de-zonas-%C3%BAmidas.html>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- CARDOSO, Daniel da Silva. **Uso de séries temporais do sensor Sentinel-1 SAR na análise de áreas inundáveis nos rios Madeira e Canumã no estado do Amazonas, Brasil**. Monografia de Bacharel em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.C. Aplicações e perspectivas do Sensoriamento Remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, 2018.
- COSTA, Evelyn de Castro Porto. **Wetlands do Estado do Rio de Janeiro: Identificação, Classificação e Estado Ambiental das Paisagens Pantanosas**. 2025. 177 f.: il. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2025.
- CUNHA, C.N; PIEDADE, M.T.F; JUNK, W. J. (Ed.). **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2014.
- CUTLER, Adele; CUTLER, D. Richard; STEVENS, John R. Random forests. In: **Ensemble machine learning: Methods and applications**, p. 157-175, 2012.
- EMBRAPA. **Sentinel: Missão Sentinel**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). Sentinel online. **User Guides**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- IBGE. **Censo Demográfico 2022: resultados gerais da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- JAMALI, Ali *et al.* Deep Forest classifier for wetland mapping using the combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 data. **GIScience & Remote Sensing**, v. 58, n. 7, p. 1072-1089, 2021.
- JUNK, W.J *et al.* Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification, for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**. v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014.

- LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre. Bookman, 2013.
- MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes. **Análise de inundações e classificação da cobertura vegetal no bioma amazônico usando séries temporais sentinel-1 SAR e técnicas de Deep Learning**. 2022. 122 f., il. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- MAHDIANPARI, Masoud *et al.* The first wetland inventory map of newfoundland at a spatial resolution of 10 m using Sentinel-1 And Sentinel-2 data on the Google Earth Engine cloud computing platform. **Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 43, 2018.
- MAUS, V.; CÂMARA, G.; CARTAXO, R.; SANCHEZ, A.; RAMOS, F.M.; de QUEIROZ, G.R. A Time-Weighted Dynamic Time Warping Method for Land-Use and Land-Cover Mapping. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, 2016, 9, 3729–3739.
- MOORE, Peter D. **Ecosystems: Wetlands**. Revised Edition. New York, NY, 2005.
- MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 4. ed., Viçosa, MG, Editora UFFV, 2011.
- OLOFSSON, Pontus *et al.* Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, 2014.
- PARADELLA, Waldir Renato *et al.* Radares imageadores nas Geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 1, p. 56-62, 2005.
- PCRJ - Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. **Plano Diretor da Cidade**. Lei Complementar nº111 de 1 de fevereiro de 2011.
- PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de textos, 2015.
- RUSSI, D. *et al.* **The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands**. IEEP, London; Brussels; Gland: Ramsar Secretariat, Gland, 2013.
- SEABRA, V. S. ; ROCHA-LEÃO, O. M. Razões para as enchentes e inundações no residencial carlos marighella: uma análise multitemática da bacia do rio do vigário, em Maricá-RJ. **Revista da ANPEGE**, v. 15, n. 26, p. 114-137, 2019.
- SILVA, Fabricio Sousa; PESTANA, Adauto Luis Moraes. Mapeamento da cobertura hídrica da microrregião da Baixada Maranhense com dados do sensor SAR Sentinel 1A. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 2, 2021.
- SLAGTER, Bart *et al.* Mapping wetland characteristics using temporally dense Sentinel-1 and Sentinel-2 data: A case study in the St. Lucia wetlands, South Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102009, 2020.
- TAMIMINIA, Haifa *et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 164, p. 152-170, 2020.
- TEIXEIRA, S. G. **Radar de abertura sintética aplicado ao mapeamento e reconhecimento de zonas úmidas costeiras**. 2011. 127p. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

Sobre os Autores

Evelyn de Castro Porto Costa é pós doutoranda em Geografia (UFRJ). Possui doutorado (UFF), mestrado (UERJ/FFP), licenciatura (UERJ/FFP) e bacharel (UFF) em Geografia. Atualmente é professora adjunta de Geociências/Geotecnologias do Departamento de Licenciatura em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Campus Cabo Frio (UERJ/CF). É membro dos grupos de pesquisas Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e

Estudos Ambientais (UFRJ) e do Laboratório de Geografia Física (UFF). Desenvolve pesquisas no âmbito da geoinformação, cartografia, sensoriamento remoto e geotecnologias aplicadas ao planejamento territorial e ambiental, bem como ao ensino de geografia.

Raúl Sánchez Vicens possui graduação em Geografia - Universidad de La Habana (1991), mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997) e doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003). Atualmente é professor titular da Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra; dinâmica, evolução e estabilidade das paisagens; classificação e cartografia das paisagens.

Contribuições dos Autores

Conceituação, [E.C.P.C, R.S.V]; metodologia, [E.C.P.C, R.S.V]; validação, [E.C.P.C, R.S.V]; análise formal, [E.C.P.C, R.S.V]; redação—preparação do rascunho original, [E.C.P.C, R.S.V]; redação—revisão e edição [E.C.P.C, R.S.V]; supervisão, [R.S.V]. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Disponibilidade de Dados

Os dados para esta pesquisa podem estar disponíveis mediante solicitação.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Sobre a Coleção Estudos Cariocas

A Coleção Estudos Cariocas (ISSN 1984-7203) é uma publicação de estudos e pesquisas sobre o Município do Rio de Janeiro, vinculada ao Instituto Pereira Passos (IPP) da Secretaria Municipal da Casa Civil da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Seu objetivo é divulgar a produção técnico-científica sobre temas relacionados à cidade do Rio de Janeiro, bem como sua vinculação metropolitana e em contextos regionais, nacionais e internacionais. Está aberta a quaisquer pesquisadores (sejam eles servidores municipais ou não), abrangendo áreas diversas - sempre que atendam, parcial ou integralmente, o recorte espacial da cidade do Rio de Janeiro.

Os artigos também necessitam guardar coerência com os objetivos do Instituto, a saber:

1. Promover e coordenar a intervenção pública sobre o espaço urbano do Município;
2. Prover e integrar as atividades do sistema de informações geográficas, cartográficas, monográficas e dados estatísticos da Cidade;
3. Subsidiar a fixação das diretrizes básicas ao desenvolvimento socioeconômico do Município.

Especial ênfase será dada no tocante à articulação dos artigos à proposta de desenvolvimento econômico da cidade. Desse modo, espera-se que os artigos multidisciplinares submetidos à revista respondam às necessidades de desenvolvimento urbano do Rio de Janeiro.