



COLEÇÃO  
ESTUDOS  
CARIOCAS

# Avaliação de mudanças na cobertura urbana da AEIU do Porto Maravilha (RJ) a partir de índices espectrais

## *Assessment of urban cover changes in the AEIU of Porto Maravilha (RJ) using spectral indices*

## *Evaluación de cambios en la cobertura urbana de la AEIU de Porto Maravilha (RJ) a partir de índices espectrales*

Ayrton Durães Manso<sup>1</sup>, Caio Gabriel Santa Bacelar<sup>2</sup>; Alexandra de Souza Rodrigues<sup>3</sup>; Hugo Portocarrero<sup>4</sup>; Pablo Ritto Koehler<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, Bloco A Maracanã – Rio de Janeiro - RJ, ORCID: 0000-0002-2002-3328, ayrtongeo@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza s/nº - Gragoatá - Niterói, Rio de Janeiro - RJ, ORCID: 0009-0009-5820-9302, bacelar.caio gabriel@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Avenida Pasteur nº 296, Urca, Rio de Janeiro - RJ, ORCID: 0009-0001-4253-5869, ale.his.rodrigues@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, Bloco A Maracanã – Rio de Janeiro - RJ, ORCID: 0000-0001-7733-6352, hportocarrero@gmail.com

<sup>5</sup>Companhia Carioca de Parcerias e Investimentos, R. Sacadura Cabral, 133 - Saúde, Rio de Janeiro – RJ, ORCID: 0009-0008-7796-2140, pablokoehler@ccpar.com.br

## Resumo

O presente estudo quantificou a alteração na cobertura do solo na Área de Especial Interesse Urbanístico (AEIU) do Porto Maravilha (2009-2024), mediante instrumentação geotecnológica de sensoriamento remoto. A geoinformação, derivada dos índices espectrais NDVI e NDBI (Landsat), revelou dois períodos distintos. O primeiro (2009-2016) é caracterizado pelo incremento do NDBI e decréscimo do NDVI, indicando adensamento construtivo e supressão vegetal. O segundo período (2017-2024) apresentou a estabilização das superfícies antrópicas. A correlação negativa entre os índices validou o aumento de áreas construídas em detrimento de áreas verdes.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, cobertura do solo, Porto Maravilha

## Abstract

This study quantified land cover change in the Porto Maravilha Urban Special Interest Area (AEIU) (2009-2024), utilizing remote sensing geotechnological instrumentation. Geoinformation derived from spectral indices NDVI and NDBI (Landsat) revealed two distinct periods. The first (2009-2016) is characterized by an increment in NDBI and a decrement in NDVI, indicating construction densification and vegetation suppression. The second period (2017-2024) exhibited the stabilization of anthropic surfaces. The negative correlation between the indices validated the increase in built-up areas at the expense of green areas.

Keywords: remote sensing, land cover, Porto Maravilha

## Resumen

El presente estudio cuantificó el cambio en la cobertura del suelo en el Área de Especial Interés Urbanístico (AEIU) de Porto Maravilha (2009-2024), mediante instrumentación geotecnológica de teledetección. La geoinformación, derivada de los índices espectrales NDVI y NDBI (Landsat), reveló dos períodos distintos. El primero (2009-2016) se caracteriza por el incremento del NDBI y el decremento del NDVI, indicando densificación constructiva y supresión de vegetación. El segundo período (2017-2024) presentó la estabilización de las superficies antrópicas. La correlación negativa entre los índices validó el aumento de áreas construidas en detrimento de áreas verdes.

Palabras clave: teledetección, cobertura del suelo, Porto Maravilha

Volume

13

Edição

4

\*Autor(a) correspondente  
ayrtongeo@gmail.com

Submetido em 10 nov 2025

Aceito em 05 jan 2026

Publicado em 30 jan 2026

### Como Citar?

MANSO, A. D. et al.. Avaliação de mudanças na cobertura urbana da AEIU do Porto Maravilha (RJ) a partir de índices espectrais. *Coleção Estudos Cariocas*, v. 13, n. 4, 2026. DOI 10.71256/19847203.13.4.189.2025.

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.



## 1 Introdução

O uso do Sensoriamento Remoto (SR) para a aquisição de informações detalhadas e precisas da superfície terrestre tem sido cada vez maior com o avanço de suas tecnologias, sendo uma ferramenta considerada indispensável para a gestão e o planejamento de regiões urbanas (Herold; Scepan; Clarke, 2002). O uso de imagens de satélite e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aprimoram a capacidade de detectar mudanças complexas nas paisagens terrestres, oferecendo uma metodologia de baixo custo e alta eficácia em comparação com os métodos tradicionais de monitoramento (Roy; Bari, 2022; Liu, 2023). A relevância dessa tecnologia é amplificada no contexto em que dados como cobertura e uso do solo, consumo da terra, temperatura de superfície e poluição do ar passam a ser possíveis de serem obtidos gratuitamente em repositórios online (Shumilo *et al.*, 2021).

Historicamente o uso de fotografias aéreas foi uma das primeiras fontes de dados para o mapeamento de áreas verdes urbanas. A aplicação de índices espectrais como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) provenientes de imagens Landsat entre as décadas de 1970 e 1990 possibilitou a quantificação do “verdor” da vegetação (Liu, 2023). Já áreas construídas têm sido quantificadas através do Índice de Construção de Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). Trabalhos recentes têm indicado o potencial do índice em identificar a expansão urbana, a conversão de áreas verdes e sua correlação com a temperatura da superfície terrestre (Roy; Bari, 2022; Arif; Toersilowati, 2024; Cetin *et al.*, 2024; Drešković; Dug; Osmanovic, 2024).

No âmbito de estudos urbanos baseados em séries temporais extensas, a escolha do satélite envolve necessariamente um equilíbrio entre resolução espacial, cobertura temporal e consistência radiométrica. Neste estudo, a utilização integrada de imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8 permitiu a análise de mudanças na cobertura do solo na Área de Especial Interesse Urbanístico (AEIU) do Porto Maravilha, que ocorreram em função das obras de infraestrutura iniciadas em 2009, promovidas para atender os grandes eventos esportivos sediados na cidade do Rio de Janeiro como a Copa do Mundo em 2014 e os Jogos Olímpicos em 2016.

Portanto, o objetivo do estudo foi analisar a mudança da cobertura do solo na AEIU do Porto Maravilha, no período de 2009 a 2024, utilizando dados de SR. Para tal, os índices NDVI e NDBI, foram adotados afim de compreender a variação da correlação entre ambos durante o recorte temporal, apontando os possíveis cenários de adensamento das superfícies antrópicas e de supressão da vegetação urbana como consequentes das intensas intervenções estruturais na paisagem.

## 2 Transformações urbanas e paisagísticas na região portuária do Rio de Janeiro: Uma breve abordagem histórica

A região portuária do Rio de Janeiro constitui um espaço emblemático da história urbana e social da cidade. Desde o período colonial, essa área, composta principalmente pelos bairros da Saúde, Gamboa e Santo Cristo, foi central na formação do núcleo urbano carioca e no desenvolvimento econômico da capital, tendo abrigado trapiches, o mercado do Valongo e uma expressiva população de trabalhadores escravizados e libertos, que moldaram suas práticas culturais e identitárias (Silva; Silva, 2014). Essa herança afro-brasileira e operária marcou profundamente o território, conferindo um papel fundamental na constituição da “Pequena África”, berço de manifestações como o samba e o candomblé.

Ao longo do século XIX, com a expansão da cafeicultura e a modernização dos portos brasileiros, o Rio de Janeiro se consolidou como principal centro comercial do país. As reformas urbanas empreendidas durante a gestão de Pereira Passos (1902–1906) introduziram um novo ordenamento espacial, abrindo avenidas, demolindo cortiços e redesenhando a frente marítima em nome da modernidade e

da “higienização” da cidade (Monié; Silva, 2015; Colchete Filho; Costa; Jesus, 2019). Essas intervenções, porém, resultaram em forte segregação social, empurrando as camadas populares para as franjas urbanas e para os morros adjacentes à zona portuária.

A partir da segunda metade do século XX, a região entrou em processo de decadência. A modernização dos sistemas de transporte marítimo, o uso de contêineres e a desindustrialização acarretaram o esvaziamento econômico da área, agravado pela construção do Elevado da Perimetral, que isolou fisicamente o porto do restante da cidade (Silva; Silva, 2014; Colchete Filho; Costa; Jesus, 2019). O resultado foi a obsolescência de grandes espaços e o abandono de imóveis históricos, mesmo em áreas protegidas pelo Projeto SAGAS e pela legislação de conservação urbana.

A virada do século XXI marcou o retorno do interesse público e privado pela região. O lançamento do projeto Porto Maravilha, em 2009, inseriu o Rio de Janeiro na lógica global dos grandes projetos urbanos (Sarue, 2018) e de *waterfronts* (Monié; Silva, 2015), que articulam Estado e capital financeiro-imobiliário em parcerias público-privadas. Inspirado nas reformas de Barcelona e Buenos Aires o projeto propôs a requalificação da zona portuária por meio da Operação Urbana Consorciada (Lei Complementar nº 101/2009), com investimentos vultosos em infraestrutura, mobilidade e equipamentos culturais, como o Museu do Amanhã e o Museu de Arte do Rio, além da demolição do Elevado da Perimetral e da implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) (Ferreira; Pizzolante; Viriato, 2024).

Essas transformações alteraram profundamente a paisagem urbana e o imaginário da cidade. A região, antes marginalizada, se tornou vitrine do planejamento estratégico e do turismo, marcada por novos símbolos arquitetônicos e pelo tratamento paisagístico do Boulevard Olímpico (Carlos, 2020). Contudo, o processo revelou contradições: a gentrificação e o aumento do valor do solo urbano restringiram o acesso das populações tradicionais, ameaçando a permanência das comunidades históricas dos bairros da Saúde e da Gamboa (Carlos, 2020). A revitalização urbana, em vez de promover uma “conservação integrada”, que alinhasse patrimônio, moradia e inclusão, acabou reforçando o caráter mercantil da cidade, subordinada à lógica neoliberal do espetáculo e da valorização imobiliária (Harvey, 2005; Jacques, 2003 *apud* Carlos, 2020).

Como apontam Ferreira, Pizzolante e Viriato (2024), o Porto Maravilha deve ser entendido como parte de uma dinâmica metropolitana mais ampla, em que o espaço urbano é produzido como mercadoria e orientado por estratégias financeiras e políticas de controle. Nessa perspectiva, a paisagem portuária atual expressa tanto continuidades, como a centralidade econômica e simbólica do porto, quanto rupturas, ao representar uma nova forma de urbanização marcada por desigualdades, espetacularização e seletividade espacial.

Assim, a história da região portuária do Rio de Janeiro revela um percurso de constantes reconfigurações urbanas e paisagísticas, nas quais a modernização frequentemente significou exclusão. Do antigo cais colonial ao “Porto Maravilha” contemporâneo, esse território permanece como espelho das tensões entre memória e mercado, entre patrimônio e capital. Reconhecer essas camadas históricas é fundamental para pensar futuros mais inclusivos e sustentáveis para uma área que, mais do que requalificada, precisa ser verdadeiramente reintegrada à cidade e à sua população.

### **3 Materiais e métodos**

O presente trabalho configura-se como um estudo de caso de natureza quantitativa, com uma abordagem de análise espaço-temporal. A metodologia baseou-se fundamentalmente em técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise estatística exploratória para o monitoramento da mudança da cobertura do solo na AEIU do Porto Maravilha.

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo abordada nesta pesquisa trata-se da Área de Especial Interesse Urbanístico (AEIU) do Porto Maravilha (Figura 1), cujo perímetro foi formalmente instituído inicialmente pela Lei Complementar nº 101/2009. A referida Lei instituiu a Operação Urbana Consorciada (OUC) da região do Porto do Rio de Janeiro e adjacências na AEIU, assim compreendendo um conjunto de intervenções coordenadas pelo Município e demais entidades da Administração Pública Municipal, com a participação de proprietários, moradores, usuários e investidores, com o objetivo de alcançar transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e valorização ambiental na região.

De acordo com o Plano Diretor do município, uma AEIU é a área "destinada a projetos específicos de estruturação ou reestruturação, renovação e revitalização urbana". A finalidade da OUC, conforme o Art. 2º da referida lei, é "promover a reestruturação urbana da AEIU, por meio da ampliação, articulação e requalificação dos espaços livres de uso público, visando à melhoria da qualidade de vida de seus atuais e futuros moradores".

A área total da operação abrangeu quase 500 hectares quadrados, englobando integralmente os bairros históricos da Gamboa, Santo Cristo e Saúde, além de trechos do Caju, Centro, Cidade Nova, São Cristóvão e Vasco da Gama. Antes do projeto, a área era percebida como um espaço degradado, onde a principal barreira física era o Elevado da Perimetral, cuja demolição foi uma das intervenções previstas no Anexo II da lei.

Recentemente a AEIU do Porto Maravilha foi expandida pela Lei Complementar nº 267/2023, abrangendo localidades não contempladas por esse estudo. Os limites adotados na pesquisa foram obtidos através do portal de dados abertos da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, DATA Rio.

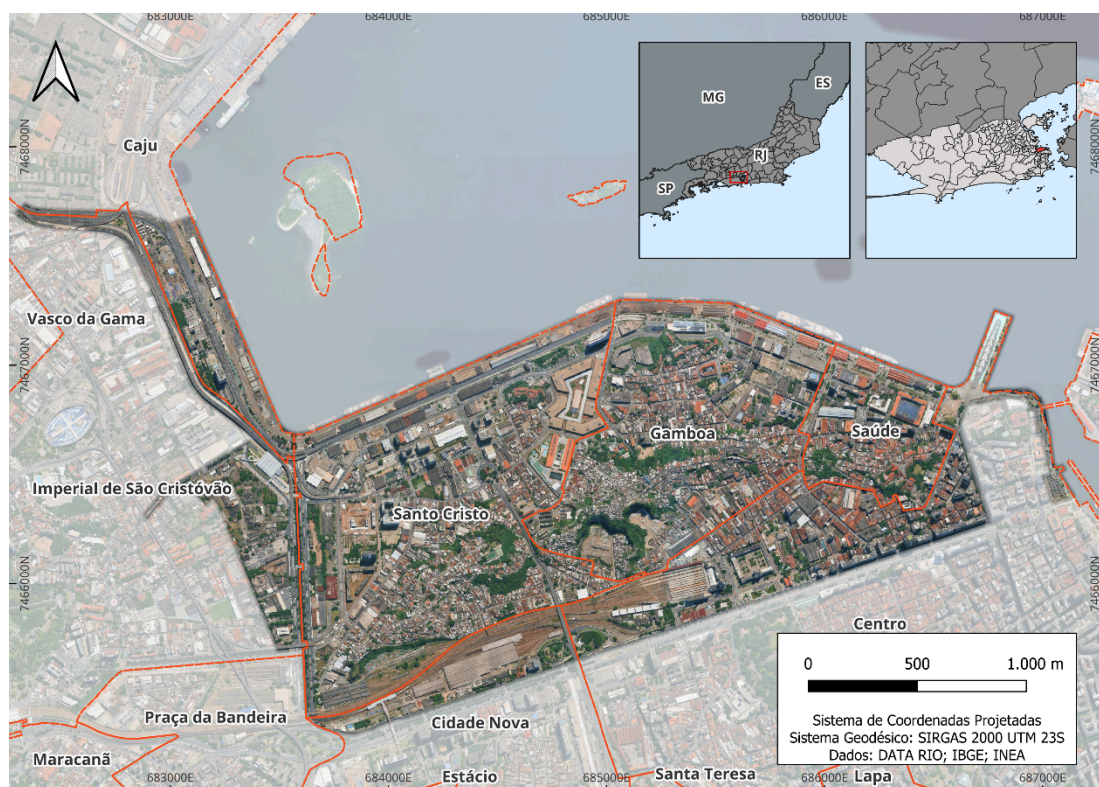


Figura 1: Localização da AEIU Porto Maravilha no município do Rio de Janeiro.  
Fonte: Os autores.

### 3.2 Obtenção de imagens orbitais e processamento digital

A etapa de obtenção das imagens orbitais foi conduzida com a finalidade de garantir uma cobertura temporal contínua do período de interesse, correspondente aos anos de 2009 a 2024, intervalo que compreende desde o início das obras na AEIU do Porto Maravilha até a atualidade. Para isso, foram selecionados os satélites Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI/TIRS), que em conjunto possibilitaram a construção de uma série histórica de dados multiespectrais com resolução espacial de 30 metros.

As imagens foram acessadas por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), onde foi utilizada a coleção LANDSAT/LT05/C02/T1\_L2 para o Landsat 5, a coleção LANDSAT/LE07/C02/T1\_L2 para o Landsat 7 e por fim a coleção LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2 para o Landsat 8.

A fim de garantir a comparabilidade entre anos e sensores, foi adotado um procedimento padronizado de pré-processamento no GEE. Esse procedimento incluiu: (i) filtragem das imagens pela cobertura de nuvens (< 75% nos anos críticos), (ii) aplicação de função de máscara para nuvens e sombras utilizando QA\_PIXEL, (iii) correção por fatores de escala oficiais do USGS e (iv) geração de composições anuais pela mediana dos pixels ao longo do ano. O resultado consistiu em um conjunto de imagens anuais representativas de toda a série temporal, recortadas pela geometria da AEIU e exportadas em formato GeoTIFF.

### 3.3 Álgebra de bandas espectrais

Embora seja possível realizar as operações algébricas entre as bandas espectrais das imagens através do próprio GEE, optou-se por conduzir os cálculos no software QGIS 3.40 LT, utilizando a ferramenta 'Calculadora Raster'. Essa escolha se deu pela flexibilidade na manipulação das imagens exportadas e pela possibilidade de manter um ambiente integrado com outras etapas do processamento cartográfico.

Dois índices foram selecionados para a análise temporal: o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Construção da Diferença Normalizada (NDBI). Ambos são amplamente utilizados em estudos de dinâmica urbana e ocupação do solo (Roy; Bari, 2022; Cetin *et al.*, 2024 ), pois permitem discriminar áreas vegetadas e superfícies antrópicas, respectivamente.

O NDVI foi obtido a partir da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Já o NDBI foi calculado pela razão entre a diferença e a soma das bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) e do infravermelho próximo (NIR), conforme a Equação 2:

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (2)$$

A tabela 1 a seguir discrimina a banda de cada satélite utilizada nas operações algébricas.

Tabela 1: Combinação de bandas dos índices espectrais.

Índice	Landsat 5 e 7		Landsat 8	
	1ª Banda	2ª Banda	1ª Banda	2ª Banda
NDVI	4	3 <sup>1</sup>	5	4
NDBI	5	4	6	5

Fonte: Adaptada de Roy; Bari (2022).

### 3.4 Análises estatísticas

Para compreender a relação entre os índices NDVI e NDBI, foram conduzidas análises de estatística descritiva e de correlação utilizando o software R, com o auxílio dos pacotes *raster* para manipulação dos dados geoespaciais e *ggplot2* para a visualização. A correlação foi calculada ano a ano, comparando os valores de pixel da imagem raster do NDBI com os valores correspondentes da imagem raster do NDVI. Para isso, a Análise de Correlação de Pearson foi empregada para examinar a interdependência e a inter-relação na distribuição desses valores. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) é expresso pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Onde:

$r$  = Coeficiente de correlação de Pearson;

$n$  = Número total de pixels amostrados;

$x_i$  = Valor do pixel  $i$  na imagem NDBI;

$y_i$  = Valor do pixel  $i$  na imagem NDVI;

$\bar{x}$  = Média dos valores de pixel da imagem NDBI;

$\bar{y}$  = Média dos valores de pixel da imagem NDVI.

## 4 Resultados

A análise da série temporal dos índices espectrais (2009–2024) permitiu identificar padrões distintos de transformação da cobertura do solo na AEIU do Porto Maravilha, expressos pelas variações inversas entre o NDBI e o NDVI. Os dados revelam dois períodos marcadamente diferentes no comportamento espectral da paisagem urbana, como pode ser visualizado na Figura 2 a seguir.

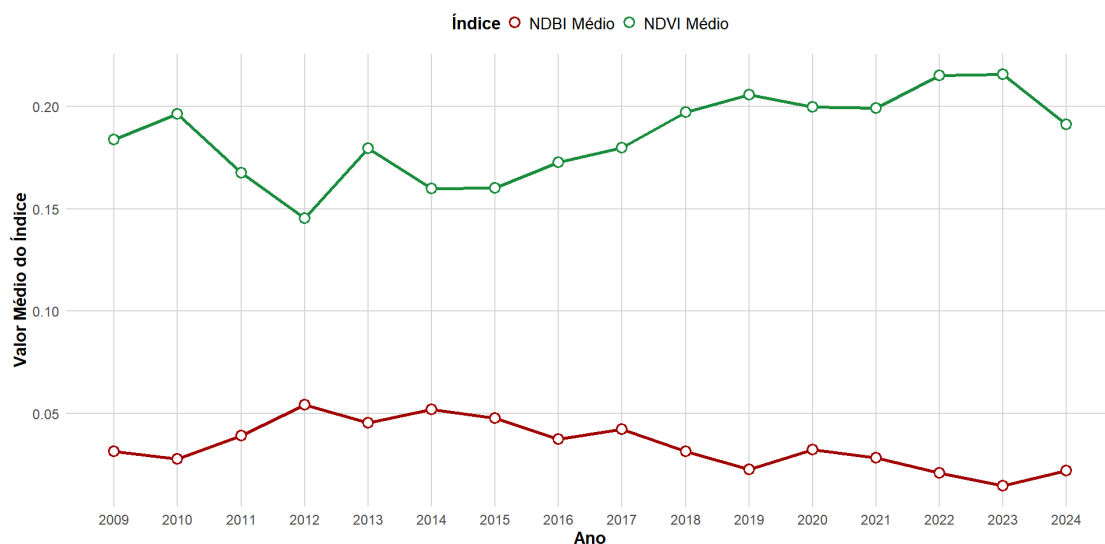


Figura 2: Evolução temporal da média dos índices NDBI e NDVI.

Fonte: Os autores.



#### 4.1 Período I – Transformação intensiva (2009–2016)

O primeiro intervalo caracteriza a fase mais dinâmica de obras da Operação Urbana Consorciada, coincidindo com a implementação das intervenções estruturais e demolição do Elevado da Perimetral. Os valores médios do NDBI apresentam tendência de crescimento entre 2009 (0,03) e 2014–2016 (0,04–0,05), enquanto o NDVI demonstra queda progressiva no mesmo intervalo, passando de 0,18 (2009) para 0,14 (2012) e 0,15 (2014). Esse comportamento evidencia a substituição de superfícies vegetadas por materiais construtivos e pavimentação, resultando em maior reflectância no infravermelho de ondas curtas e redução na resposta do infravermelho próximo.

O pico máximo do NDBI em 2016 (0,61) reforça o auge das transformações físicas na paisagem e o adensamento das superfícies antrópicas, enquanto a mínima expressiva do NDVI no mesmo ano reflete o ponto de maior supressão vegetal conforme exposto nas Tabelas 2 e 3. A correlação negativa mais intensa entre ambos os índices, observada nesse período, é indicativa do processo de conversão direta da cobertura vegetal em áreas urbanizadas, conforme também apontado por Roy e Bari (2022) e Yasin *et al.* (2022).

Tabela 2: Estatísticas descritivas NDBI.

Ano	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio-Padrão
2009	-0,63	0,30	0,03	0,05	0,12
2010	-0,68	0,32	0,02	0,04	0,13
2011	-0,63	0,32	0,03	0,05	0,12
2012	-0,76	0,33	0,05	0,07	0,12
2013	-0,43	0,42	0,04	0,06	0,10
2014	-0,46	0,35	0,05	0,06	0,11
2015	-0,46	0,30	0,04	0,06	0,09
2016	-0,49	0,61	0,03	0,04	0,10
2017	-0,52	0,56	0,04	0,04	0,10
2018	-0,53	0,30	0,03	0,04	0,11
2019	-0,51	0,34	0,02	0,03	0,11
2020	-0,53	0,63	0,03	0,04	0,12
2021	-0,56	0,64	0,02	0,03	0,11
2022	-0,53	0,30	0,02	0,03	0,12
2023	-0,48	0,39	0,01	0,02	0,11
2024	-0,49	0,32	0,02	0,03	0,11

Fonte: Os autores.

#### 4.2 Período II – Estabilização e recuperação relativa (2017–2024)

A partir de 2017, observa-se uma mudança no padrão de variação dos índices. O NDBI estabiliza-se com valores médios entre 0,02 e 0,04, sugerindo a consolidação

das áreas edificadas e a redução de novas expansões urbanas. Paralelamente, o NDVI mostra sinais de recuperação gradual, especialmente após 2018, com médias atingindo 0,20–0,21 em 2022–2023. Essa tendência positiva pode estar associada à requalificação paisagística e criação de espaços verdes públicos, como praças e corredores arborizados, previstos no plano de reurbanização.

Tabela 3: Estatísticas descritivas NDVI.

Ano	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio-Padrão
2009	-0,29	0,75	0,18	0,15	0,14
2010	-0,30	0,78	0,19	0,16	0,15
2011	-0,29	0,72	0,16	0,14	0,12
2012	-0,27	0,73	0,14	0,12	0,12
2013	-0,60	0,81	0,17	0,15	0,15
2014	-0,65	0,80	0,15	0,14	0,15
2015	-0,53	0,79	0,16	0,13	0,14
2016	-0,70	0,81	0,17	0,14	0,15
2017	-0,52	0,82	0,17	0,15	0,15
2018	-0,43	0,88	0,19	0,16	0,16
2019	-0,38	0,85	0,20	0,17	0,15
2020	-0,79	0,88	0,19	0,17	0,18
2021	-0,80	0,89	0,19	0,17	0,18
2022	-0,45	0,86	0,21	0,18	0,17
2023	-0,53	0,84	0,21	0,18	0,17
2024	-0,51	0,82	0,19	0,16	0,16

Fonte: Os autores.

Os mapas de distribuição espacial dos índices (Figuras 3 e 4) permitem visualizar a substituição progressiva das áreas vegetadas por superfícies antrópicas. Em geral, os valores elevados de NDVI se concentraram na porção central da AEIU.



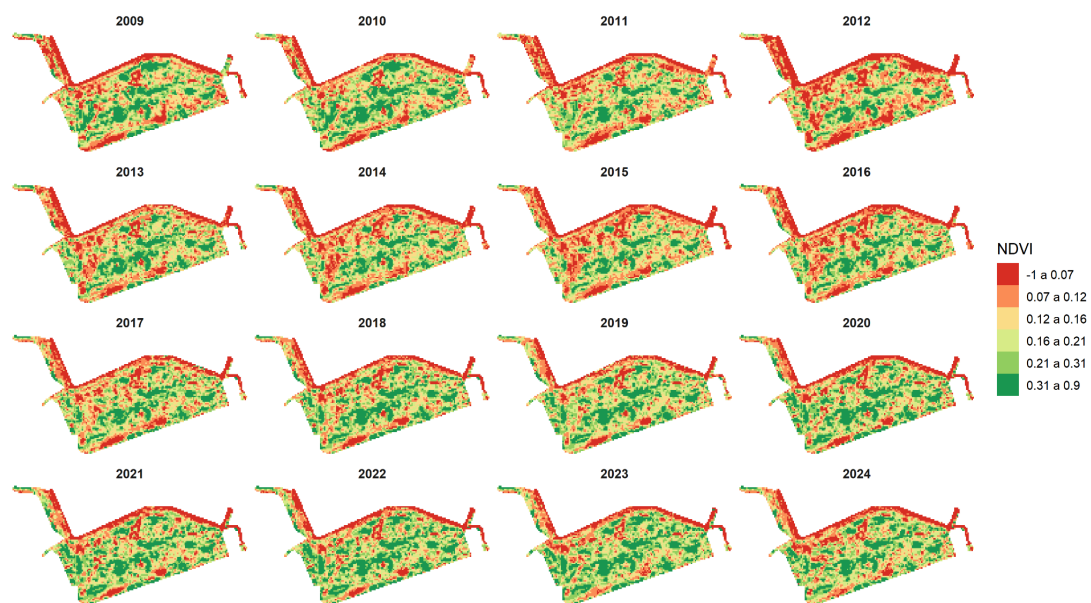


Figura 3: Distribuição espacial do índice NDVI na AEIU Porto Maravilha (2009-2024).

Fonte: Os autores.

Em 2012 pode-se observar uma possível redução das áreas verdes ao longo das proximidades da Avenida Rodrigues Alves e do eixo portuário por onde cortam os túneis Marcelo Alencar e Rio 450 Anos, expressa pela concentração de valores negativos do índice nesta seção.

No mesmo ano, a distribuição espacial do NDBI também revela um avanço das superfícies construídas em direção ao interior da AEIU. Após 2017, a homogeneização dos valores do índice indica estabilização do tecido urbano, com redução da dispersão de valores extremos. Pontualmente, as manchas de NDVI voltam a se intensificar em 2021 e 2023.

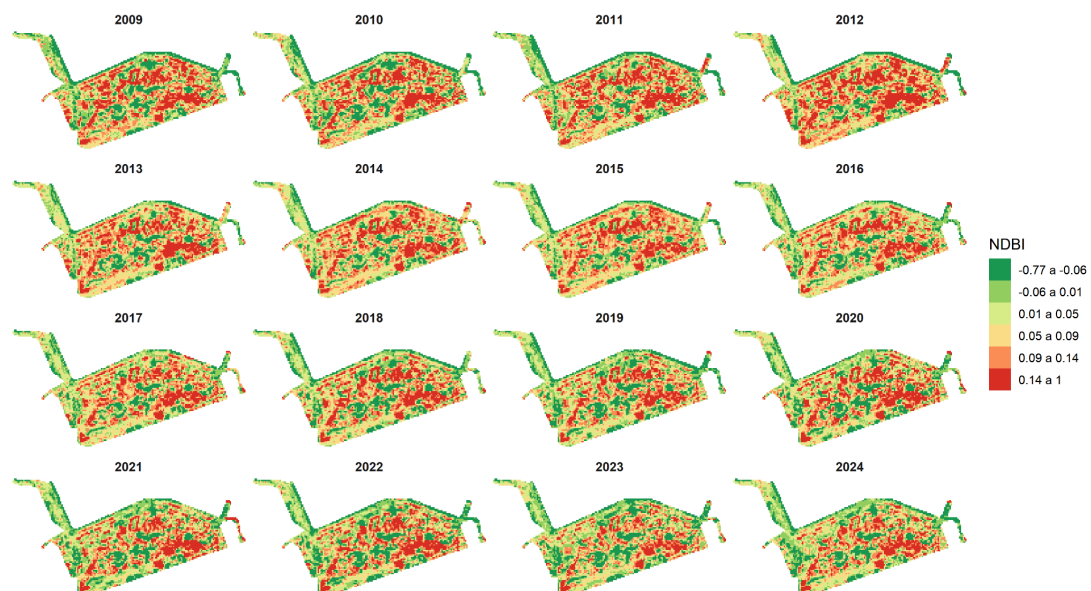


Figura 4: Distribuição espacial do índice NDBI na AEIU Porto Maravilha (2009-2024).

Fonte: Os autores.

A Figura 5 apresenta o histograma da distribuição dos pixels para o índice NDBI. A maior concentração de valores ocorreu próximo a zero, na faixa de (0 e 0,20).

Notou-se um deslocamento e aumento das barras ao longo dos anos para os valores mais positivos, à direita, até um determinado ponto em que há também aumento novamente dos valores entre (-0,20 e 0) sugerindo a estabilização da cobertura dessas áreas.

A Figura 6, correspondente ao NDVI, indicou concentração de pixels na faixa de valores de (0 e 0,25). No entanto, os picos do histograma estão atribuídos a valores aproximadamente entre (0,10 e 0,15), que segundo o trabalho de França; Pereira; Galvêncio (2012) significa uma baixa cobertura vegetal e em condição de estresse, de certa forma esparsa.

Como observado na Figura 3 anterior, os valores mais elevados do NDVI tendem a se distribuir espacialmente na zona central da AEIU, e isso não ocorre por acaso. Nessa região há fragmentos de vegetação relevantes presentes no Morro da Providência, no Parque Machado de Assis, no Cemitério dos Ingleses, em torno do Observatório do Valongo (UFRJ), e no trecho entre as Ruas do Pinto e Nabuco de Freitas.

Já fora dessa parte central, nota-se vegetação um pouco mais densa sobre o Túnel Nina Rabha, ao longo do morro da Saúde e no Mosteiro de São Bento. A arborização urbana ocorre pontualmente com a presença de poucos indivíduos.

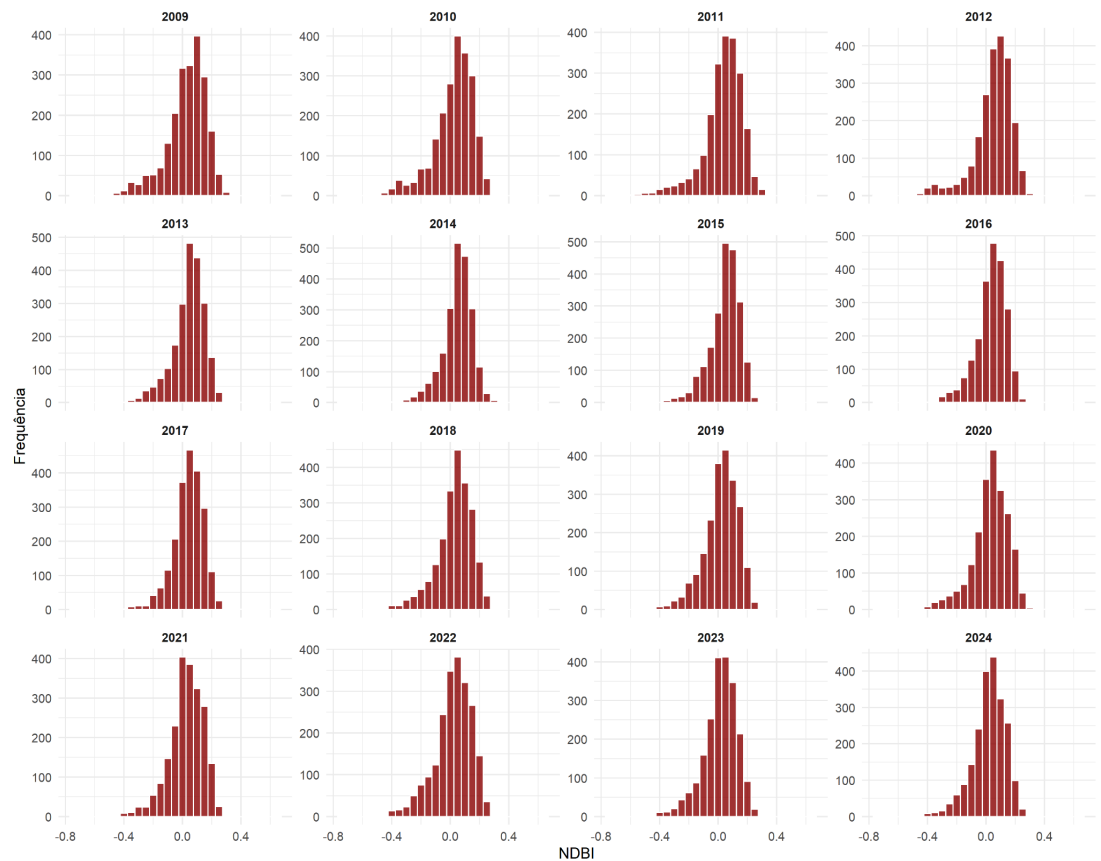


Figura 5: Histograma com a distribuição dos pixels para o índice NDBI.

Fonte: Os autores.

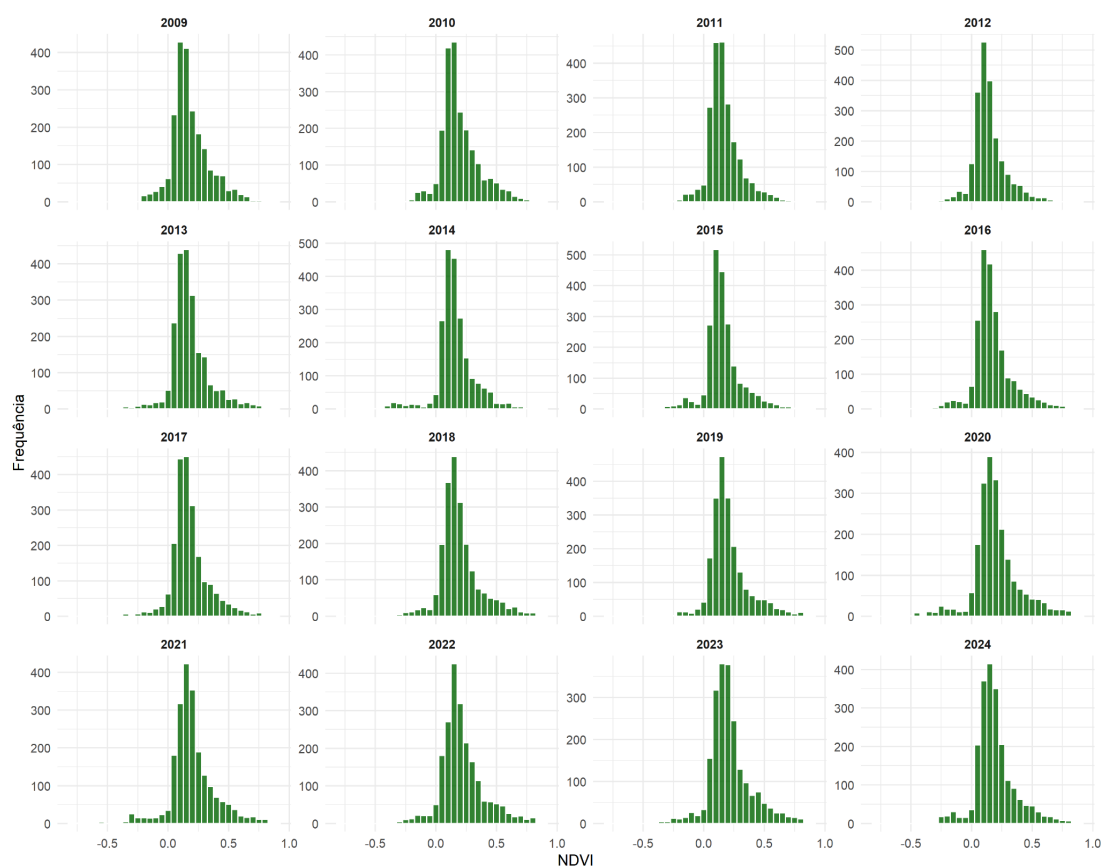


Figura 6: Histograma com a distribuição dos pixels para o índice NDVI.  
Fonte: Os autores.

A relação inversa entre os dois índices é confirmada pela análise de correlação de Pearson, que se mostrou negativa. Essa associação negativa entre NDBI e NDVI é abordada como um indicador do processo de urbanização e da substituição de cobertura do solo (Roy; Bari, 2022; Yasin *et al.*, 2022).

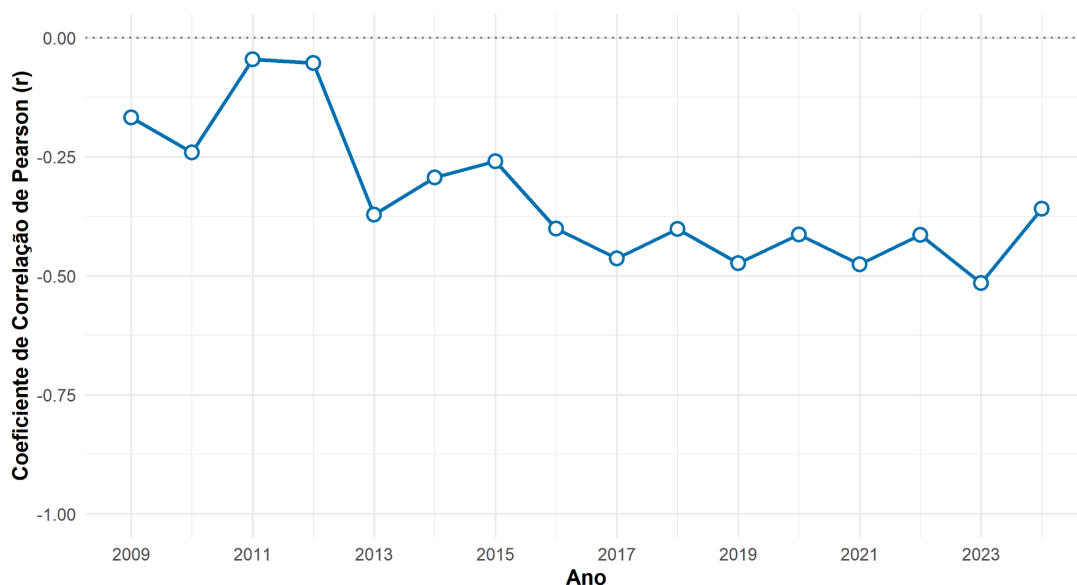


Figura 7: Evolução da correlação anual entre o NDBI e NDVI (2009 - 2024).  
Fonte: Os autores.

As flutuações anuais na força dessa correlação (variando de fraca a moderada) sugerem que o processo de substituição não foi linear, mas ocorreu em surtos, correspondendo às diferentes fases do projeto. Essas mudanças documentadas na cobertura do solo têm implicações ambientais diretas. Estudos demonstram que a

redução do NDVI e o aumento do NDBI estão fortemente correlacionados com o aumento da Temperatura da Superfície Terrestre (LST), contribuindo para a intensificação de ilhas de calor (Luo, 2023; Drešković; Đug; Osmanović, 2024).

## 5 Conclusão

Este trabalho demonstrou a eficácia do sensoriamento remoto para monitorar e avaliar quantitativamente as mudanças na cobertura do solo resultantes de uma grande intervenção urbana. Os resultados confirmaram a hipótese de que a implementação do projeto Porto Maravilha promoveu um adensamento de superfícies antrópicas em detrimento de áreas verdes, expresso principalmente pelo período entre 2009 - 2016, o qual compreende a fase mais intensa das obras.

A análise espaço-temporal do período destacado forneceu evidências objetivas do adensamento de superfícies construídas na área de estudo, refletida no aumento dos valores de NDBI e na correspondente diminuição dos valores de NDVI.

A metodologia empregada, alinhada com as pesquisas de referência, provou ser uma ferramenta dinâmica e célere para traçar um diagnóstico preliminar a respeito das transformações na paisagem, oferecendo dados valiosos que não só documentam o impacto físico do projeto, mas também permitem inferir sobre suas consequências ambientais, como as alterações no microclima local, visto em outros estudos.

Para trabalhos futuros, nuances mais detalhadas da variação dos índices espectrais em resposta às mudanças da cobertura do solo na AEIU poderiam ser acessadas com o aumento da amostragem, obtendo-se, por exemplo, uma composição mensal baseada na mediana dos pixels, em vez da anual adotada neste estudo.

Esse procedimento, no entanto, aumentaria significativamente o volume de dados gerados, de 32 para 384 imagens raster, requerendo maior processamento e capacidade de análise por parte dos pesquisadores. A automação de rotinas em lote, utilizando ferramentas como o PyQGIS no terminal Python para realizar a álgebra entre as bandas espectrais, seria uma estratégia viável para superar o desafio do processamento desse grande volume de dados, consequentemente facilitando o acesso à sua informação.

## Referências

- ARIF, N.; TOERSILOWATI, L. Monitoring and predicting development of built-up area in sub-urban areas: A case study of Sleman, Yogyakarta, Indonesia. **Heliyon**, v. 10, n. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34466>
- CARLOS, C. L. A outra face do Projeto Porto Maravilha: Área Portuária do Rio de Janeiro. **Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, 2020.
- CETIN, M. *et al.* Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye. **Natural Hazards**, v. 120, [S.n.], 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>
- COLCHETE FILHO, A. F. .; COSTA, L. M. S. A. .; JESUS, K. D. de . Porto Maravilha-RJ: comércio, espetáculo e cidade. **Tríades em Revista: Transversalidades, Design e Linguagens**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 79–93, 2019.
- DREŠKOVIĆ, N.; ĐUG, S.; OSMANOVIĆ, M. NDVI and NDBI Indexes as Indicators of the Creation of Urban Heat Islands in the Sarajevo Basin. **Geographica Pannonica**, v. 28, n. 1, p. 34-43, mar. 2024. DOI: [10.5937/gp28-48216](https://doi.org/10.5937/gp28-48216)
- FERREIRA, A.; PIZZOLANTE, H.; VIRIATO, M. O projeto “Porto Maravilha” no Rio de Janeiro: inspiração em Barcelona, representações e produção a serviço do capital. **Geo UERJ**, n. 46, p. 2-5, 2024. DOI: [10.12957/geouerj.2024.86553](https://doi.org/10.12957/geouerj.2024.86553)
- HARVEY, D. **A produção capitalista do espaço**. São Paulo: Annablume, 2005.

HEROLD, M.; SCEPAN, J.; CLARKE, K. C. The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Describe Structures and Changes in Urban Land Uses. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 34, n. 8, p. 1443-1458, 2002. DOI: 10.1068/a3496

LIU, Y. Application of remote sensing technology in smart city construction and planning. **Journal of Physics: Conference Series**. v, 2608, 2023. DOI 10.1088/1742-6596/2608/1/012052

LUO, J. Study on the Impact of MODIS-derived NDVI and NDBI on Land Surface Temperature. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, [S. l.], v. 69, p. 249–258, 2023. DOI: 10.54097/hset.v69i.11911.

MONIÉ, F.; SANTOS DA SILVA, V. O projeto Porto Maravilha de revitalização da área portuária do Rio de Janeiro entre inovações e retrocessos na produção do espaço urbano. **Revista Transporte y Territorio**, Buenos Aires, n. 12, p. 110-126, 2015.

RIO DE JANEIRO (Cidade). Lei Complementar nº 101, de 23 de novembro de 2009. Modifica o Plano Diretor, autoriza o Poder Executivo a instituir a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Rio de Janeiro, RJ, 24 nov. 2009. Disponível em: <http://leis.org/cmisp>. Acesso em: 15 ago. 2025.

RIO DE JANEIRO (Cidade). Lei Complementar nº 267, de 20 de dezembro de 2023. Altera a Lei Complementar nº 101, de 23 de novembro de 2009, para expandir a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio de Janeiro e a Lei nº 5.780, de 22 de julho de 2014, e dá outras providências, 2023. Disponível em: <http://leis.org/10gd3>. Acesso em: 15 out. 2025.

RIO DE JANEIRO (Cidade). **AEIU - Porto Maravilha**: Área de Especial Interesse Urbanístico do Porto Maravilha. Rio de Janeiro: Data.Rio, [S.d.]. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/aeiu-porto-maravilha/explore>. Acesso em: 15 out. 2025.

ROY, B.; BARI, E. Examining the relationship between land surface temperature and landscape features using spectral indices with Google Earth Engine. **Heliyon**, v. 8, e10668, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10668

SARUE, B. Quando grandes projetos urbanos acontecem? Uma análise a partir do Porto Maravilha no Rio de Janeiro. **Revista Dados**, v. 61, n. 3, p. 581-616, 2018. DOI: 10.1590/001152582018168

SHUMILO, L. *et al.* Remote Sensing Data usage for Smart City Greening Strategy Planning. IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies. Lviv, Ukraine, 2021, p. 92-97, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535595

SILVA, M. R.; SILVA, M. L. A transformação espacial da Zona Portuária do Rio de Janeiro: o projeto Porto Maravilha como instrumento de segregação espacial. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7., 2014, Vitória. Anais [...]. Vitória: AGB, 2014.

YASIN, M. Y. *et al.* Landsat observation of urban growth and land use change using NDVI and NDBI analysis. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1067, 012037, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1067/1/012037

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. DOI: 10.1080/01431160304987

## **Sobre os Autores**

Ayrton Durães Manso é geógrafo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), mestre em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e atualmente doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geociências (UERJ). Desenvolve pesquisas nas áreas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem hidrológica, com foco em escoamento superficial e erosão em encostas urbanas. Atua também em projetos de monitoramento ambiental e gestão territorial vinculados ao Comitê Piabanha.

Caio Gabriel Santana Bacelar é Geógrafo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com ênfase em Pedologia. Atualmente é graduando em Geofísica pela Universidade Federal Fluminense (UFF).

Alexandra de Souza Rodrigues é Licenciada em História pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO). Desenvolve pesquisas na área de História do Brasil, com foco na escravidão, nas experiências de mulheres e crianças escravizadas e nas dinâmicas de liberdade nos séculos XVIII e XIX.

Hugo Portocarrero é geógrafo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mestrado em Geografia Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), doutorado em Engenharia Civil/Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pós-doutorado em Engenharia Civil/Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Professor Adjunto do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da UERJ. Professor do quadro permanente do Mestrado Profissional em Rede Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua.

Pablo Ritto Koehler é geógrafo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e possui mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente é Diretor de Operações na Companhia Carioca de Parcerias e Investimentos - CCPar.

## **Contribuições dos Autores**

Conceituação, [A.D.M., C.G.S.B.]; metodologia, [A.D.M.]; software [A.D.M]; validação, [A.D.M., H.P.]; análise formal, [A.D.M.]; investigação, [A.D.M., C.G.S.B.]; curadoria de dados, [A.D.M.]; redação—preparação do rascunho original, [A.D.M., A.S.R.]; redação—revisão e edição [A.D.M, C.G.S.B., A.S.R., H.P.]; supervisão, [H.P., P.R.K.]. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## **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.