

MAPEAMENTO E ANÁLISE MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DO OESTE METROPOLITANO DO RIO DE JANEIRO

MAPPING AND MULTITEMPORAL ANALYSIS OF DYNAMICS COVERAGE AND LAND USE IN THE WEST REGION METROPOLITAN OF RIO DE JANEIRO

 Camila Gonçalves dos Santos ¹
 Gustavo Mota de Sousa ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos SP, Brasil
² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil

Resumo

A Região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro é abrangida pelos bairros da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro, a Área de Planejamento 5 e por alguns municípios da Baixada Fluminense. Essa área de estudo é considerada como o principal eixo de expansão da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e merece destaque por conta das alterações ocorridas na paisagem, especialmente em virtude de iniciativas implementadas ao longo de duas décadas (2000 – 2020), com a construção do Arco Metropolitano e a instalação de alguns empreendimentos. O objetivo deste trabalho foi mapear e analisar a dinâmica multitemporal da cobertura da terra na Região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro entre os anos de 2000, 2010 e 2020, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e classificação supervisionada. O mapeamento dessas áreas visa identificar as classes de cobertura da terra existentes nos limites da região, visando realizar uma análise multitemporal da dinâmica da paisagem cultural dessa região e contribuir para a adoção de medidas públicas para auxílio de respostas em questões ambientais, como construção de modelos de susceptibilidade aos incêndios, educação ambiental, planejamento ambiental e urbano, além de estudos socioeconômicos. A metodologia para a elaboração do mapa de cobertura da terra se deu em quatro etapas. Aliado a isto foi utilizado o software QGIS 3.18, o *plugin Dzetsaka* para realização da classificação supervisionada e utilizado o *plugin AcATaMa* para realizar a avaliação do mapeamento. Os resultados mostraram uma significativa expansão urbana na região ao longo dos 20 anos, acompanhada pela redução de áreas de gramíneas e aumento de atividades como extração de areia e mineração, além da recuperação parcial de áreas florestais em certas localidades.

Palavras-chave: Cobertura da terra; Análise Multitemporal; Classificação Supervisionada; QGIS; Dzetsaka.

Abstract

The Western Metropolitan Region of Rio de Janeiro encompasses the West Zone neighbourhoods of the city of Rio de Janeiro, Planning Area 5, and some municipalities in the Baixada Fluminense region. The study area is considered the main expansion axis of the Rio de Janeiro Metropolitan Region (RMRJ) and is of interest due to changes in the landscape, particularly initiatives implemented over the last two decades (2000–2020), such as the construction of the Arco Metropolitano and several other projects. This study aimed to map and analyse the multitemporal dynamics of land cover and use in the Western Metropolitan Region of Rio de Janeiro between 2000, 2010 and 2020 using remote sensing and supervised classification techniques. Mapping these areas enables the identification of land cover classes within the region's boundaries and allows for a multitemporal analysis of the region's cultural landscape dynamics. This contributes to the development of public policies that address environmental issues, such as the creation of fire susceptibility models, environmental education, environmental and urban planning, and socioeconomic studies. The methodology for developing the land cover map consisted of four stages. QGIS 3.18 software was used, along with the Dzetsaka plugin for supervised classification and the AcATaMa plugin for mapping evaluation. The results revealed significant urban expansion in the region over the past 20 years, accompanied by a reduction in grassland and an increase in activities such as sand extraction and mining. There was also partial recovery of forested areas in certain locations.

Keywords: Land cover; Multitemporal Analysis; Supervised Classification; QGIS; Dzetsaka.

Recebido em: 04/11/2024 | 07/10/2025

Correspondência para: Camila Gonçalves dos Santos (camilagoncalves@ufrj.br)





INTRODUÇÃO

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são extremamente úteis para analisar, avaliar e monitorar uma determinada região e ecossistemas, devido às diversas possibilidades e ao custo-benefício que essas oferecem ao usuário. Atualmente, existem *softwares* gratuitos e livres que possibilitam análises mais aprofundadas utilizando geotecnologias. Dentre os benefícios, pode-se destacar a liberdade na escolha dos parâmetros a serem utilizados nos processos de classificação de imagens, o que consequentemente flexibiliza os fatores empregados na investigação do objeto de estudo.

A Região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (OMRJ) tem passado por profundas transformações em sua paisagem, impulsionadas por investimentos em infraestrutura logística e expansão urbana nas últimas décadas. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho consistiu em mapear e analisar a dinâmica multitemporal da cobertura da terra nesta região entre os anos de 2000, 2010 e 2020, identificando as principais mudanças ocorridas e correlacionando-as com fatores antrópicos e naturais.

Levando isto em consideração, o objeto de estudo compreende a área do OMRJ, abrangendo municípios como Itaguaí, Seropédica, Paracambi, Japeri, Queimados, Nova Iguaçu e parte da Zona Oeste do Rio de Janeiro, uma região estratégica que concentra importantes eixos viários, industriais e portuários. E desta maneira, algumas questões foram formuladas, como: como decorreu a evolução espacial e quantitativamente as classes de cobertura da terra no OMRJ ao longo de 20 anos? Quais transformações foram mais significativas e onde ocorreram? É possível associar essas mudanças aos empreendimentos como o Arco Metropolitano e a expansão do Porto de Itaguaí?

A metodologia adotada baseou-se em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e CBERS-4A foram processadas no *software* QGIS 3.18, utilizando os *plugins* *Dzetsaka* para classificação supervisionada e *AcATaMa* para validação de acurácia. O processo envolveu empilhamento de bandas, recorte da área de estudo com buffer de 1 km, classificação pixel a pixel com base em 10 classes temáticas definidas conforme IBGE (1992) e Sousa et al. (2012), e edição manual para refinamento dos resultados.

De forma geral, os resultados obtidos foram considerados bem-sucedidos e satisfatórios. Os mapas temáticos finais apresentaram acurácias globais superiores a 0,88, permitindo identificar claramente a expansão urbana, a redução de áreas de gramíneas, o aumento da mineração e a recuperação parcial de áreas florestais em determinadas localidades. Os produtos cartográficos gerados fornecem uma base confiável para o planejamento territorial e gestão ambiental na região, além de subsidiar pesquisas futuras sobre os impactos socioambientais decorrentes dessas transformações.

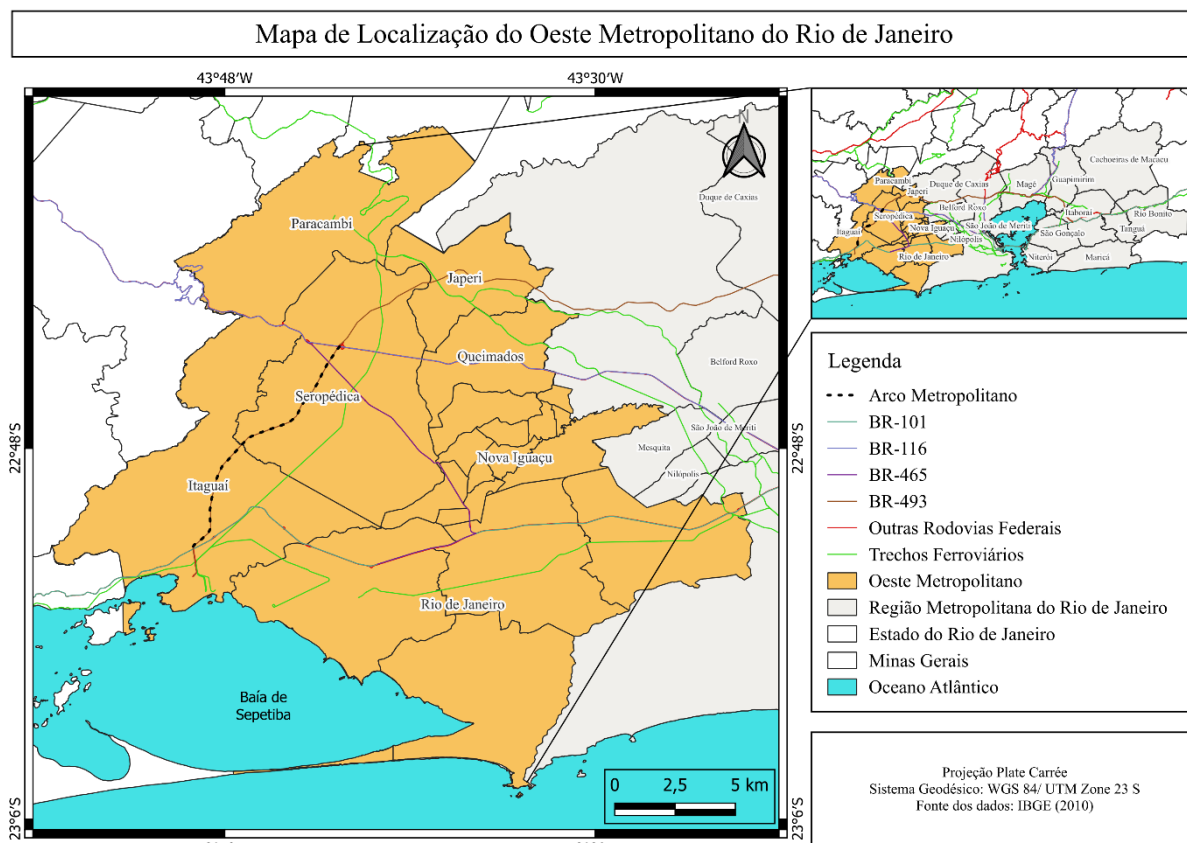
ÁREA DE ESTUDO

Compreendida pelos municípios que ficam localizados na parte oeste do atual território da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). O OMRJ configura-se numa



região que inclui a totalidade do território de cinco municípios: Itaguaí, Seropédica, Paracambi, Queimados e Japeri e parte do território de dois municípios: Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, descrito por Silva (2020) conforme a Figura 1.

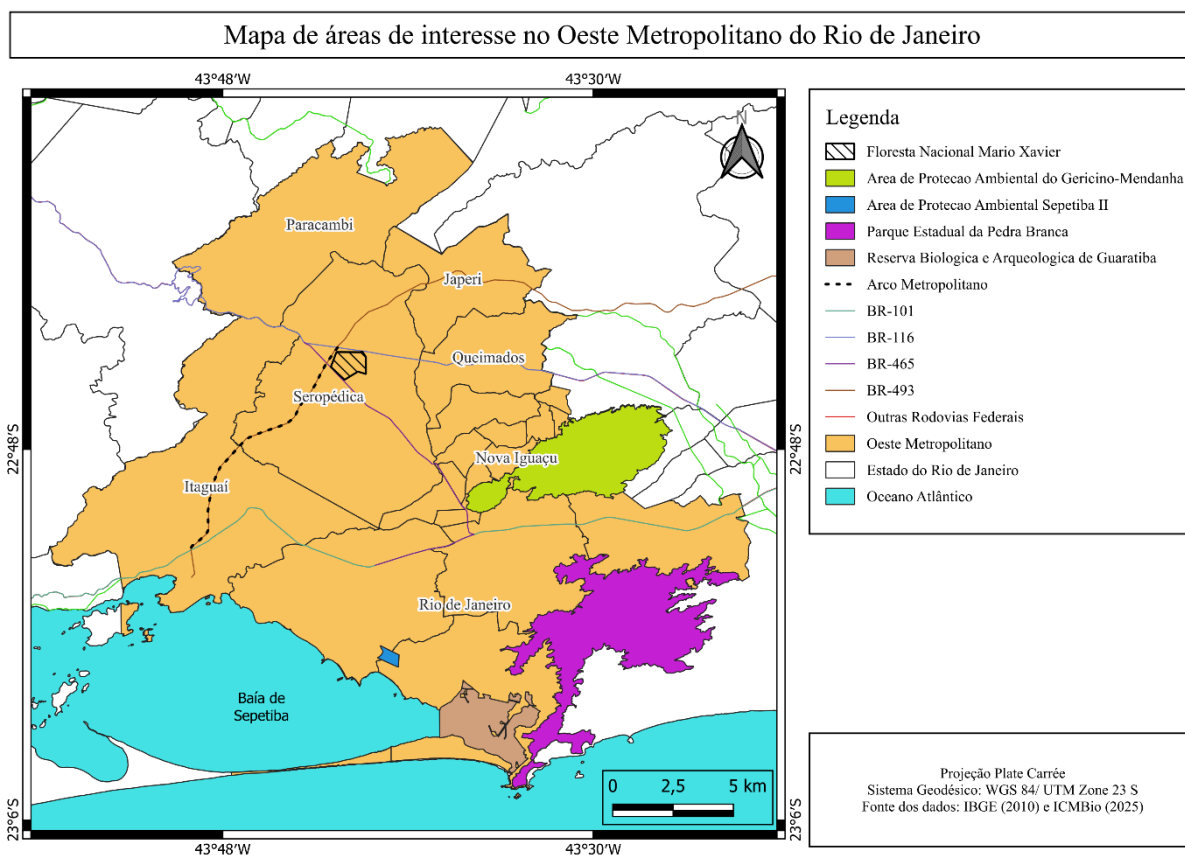
Figura 1 - Mapa de localização



Fonte: Autora (2022).

O Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro possui dentro de seu limite uma grande diversidade de coberturas naturais, como a Floresta Nacional Mário Xavier (FLONA Mário Xavier) que fica localizada no município de Seropédica, o Parque Natural Municipal do Mendanha, Parque Natural do Gericinó, Parque Estadual da Pedra Branca, a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba e as e a APAs das Brisas (Figura 2). Aliado a isto tem cursos d'água a correr pela região responsáveis pelo abastecimento de 15 municípios de um total de 91 municípios do estado do Rio de Janeiro e áreas que sofreram alguma alteração antrópica, um exemplo foi a construção do Arco Metropolitano em cima de áreas verdes, da própria Flona Mário Xavier, que acabou por afetar o seu entorno.

Considerando a área de estudo, a Região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (OMRJ), composta por bairros da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro e pelos municípios de Itaguaí, Seropédica, Paracambi, Japeri, Queimados e Nova Iguaçu (Figura 1). A definição dos limites do OMRJ foi indicada por Oliveira (2015) e Silva (2020), por meio de uma proposta analítica de sub-regionalização, visto que na região ocorrem diversos processos resultantes da expansão econômica do estado do Rio de Janeiro.

**Figura 2 - Mapa de áreas de interesse dentro da área de estudo**

Fonte: Autora (2022).

O OMRJ vem passando por transformações produtivas e territoriais que estão reestruturando o uso do solo da região. Do ponto de vista industrial, a borda do Oeste Metropolitano está localizada de forma estratégica, facilitando o processo de industrialização desta área por fazer limite com outras regiões, tornando dinâmico o fluxo de mercadorias, produtos e pessoas pelos eixos logísticos, como a Rodovia Presidente Dutra (BR-116), o Arco Metropolitano (BR 493), o Porto de Itaguaí, a antiga Estrada Rio-São Paulo (BR-465), a Rodovia Rio-Santos (BR-101), a Reta de Piranema (RJ-099) e a Rodovia Ary Schiavo (RJ 125), entre outras, denominadas como *linkages* (ligações) produtivas por vias rodoviárias, ferroviárias e portuárias (OLIVEIRA, 2015).

Essas vias viabilizam a ligação entre três grandes estados brasileiros: Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Em consequência, observa-se um crescente investimento nos setores industrial e produtivo, provocando diversas alterações espaciais, como a construção de infraestrutura, áreas de habitação populares e de classes médias e altas, a expansão do Porto de Sepetiba (Itaguaí), a construção do Arco Metropolitano (que liga o Complexo de Energias Boaventura - COMPERJ ao Porto de Itaguaí) e o deslocamento do Central de Tratamento de Resíduos - CTR-RIO para o município de Seropédica (Central de Tratamento de Resíduos -CTR Seropédica), o desenvolvimento da zona industrial de Santa Cruz, o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - REUNI que ampliou o quantitativo de cursos ofertados pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, assim provocando um aumento no deslocamento e na densidade populacional na região.



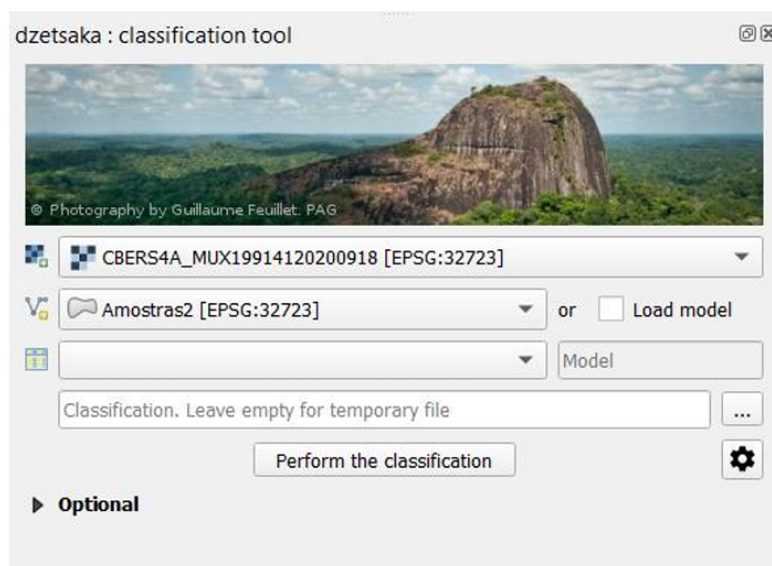
QGIS

O *Software QGIS* foi desenvolvido pela primeira vez em 2002 por Gary Sherman, com a primeira versão lançada em 2009, sendo chamado inicialmente de *Quantum GIS (QGIS)*. Onde este é um Sistema de Informação Geográfica com licença Pública Geral GNU, sendo um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)* e é construído a partir de *Software Livre* e de Código Aberto, *Free and Open Source Software (FOSS)*. Operando em diversos sistemas operacionais e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados e funcionalidades possibilitando a análise, manipulação e geração de dados georreferenciados. Disponível no site https://qgis.org/pt_BR/site/. É válido mencionar que é totalmente gratuito, traduzido para o idioma português, com uma interface intuitiva e de fácil aprendizado, possui diversas ferramentas e *plugins* e as versões do programa são constantemente atualizadas por desenvolvedores voluntários a fim de trazer novas funcionalidades para o software e corrigir eventuais erros no código.

DZETSAKA

O *Plugin Dzetsaka Classification tool* é uma ferramenta de classificação supervisionada do *QGIS*, desenvolvida por Nicolas Karasiak. Se fundamenta no classificador de Modelo de Mistura Gaussiano (FAUVEL et al., 2015), sendo um complemento simples, são necessários um *raster* (arquivo matricial) e um *shapefile* (arquivo vetorial) que contém o ROIs (*Regions of Interest*), são registros da região de interesse do usuário com pontos georreferenciados e a partir daí são gerados arquivos vetoriais com os polígonos. Para realizar a classificação, é preciso que o arquivo tenha uma coluna na tabela de atributos que contenha as categorias identificadas em números (1,2,3...).

Figura 3 – Janela do *Plugin Dzetsaka*.



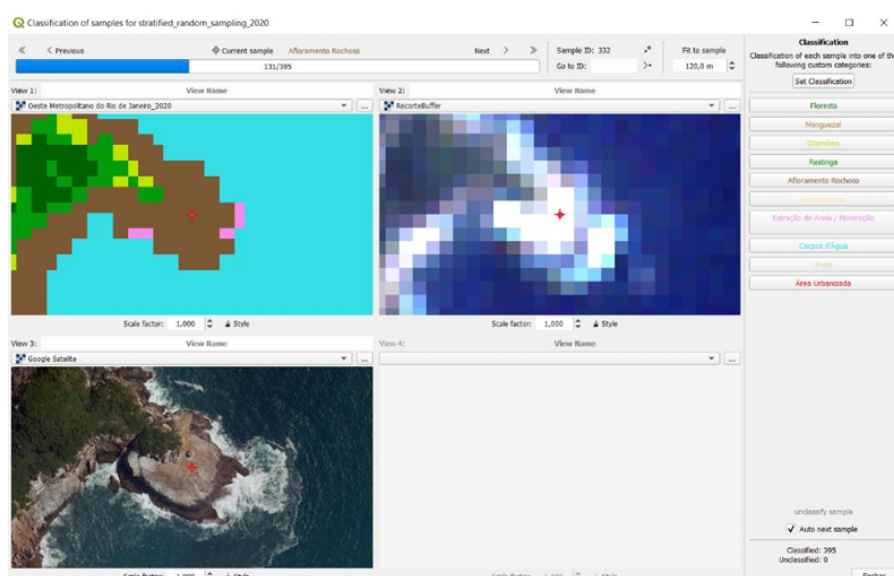
Fonte: Autora (2022).



ACATAMA

O *Plugin AcATaMa (Accuracy Assessment of Thematic Maps)* é o complemento responsável por avaliar a precisão dos mapas temáticos, estimar áreas das classes do mapa, desenho/classificação de amostragem (LLANO, 2022). A ferramenta foi desenvolvida pelo *SMBYCGroup of Forest and Carbon Monitoring System*, do instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM) da Colômbia.

Figura 4 – Janela de validação do *Plugin AcATaMa*.

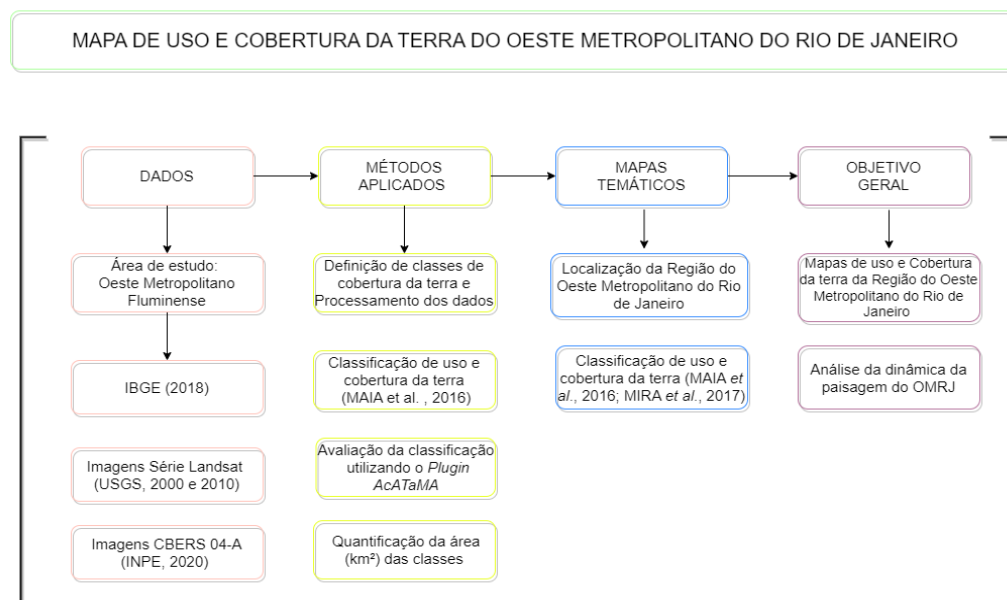


Fonte: Autora (2022).

METODOLOGIA

A metodologia pode ser observada no fluxograma metodológico apresentado na Figura 5. Esta pesquisa contou com a revisão bibliográfica e coleta dos dados em bases cartográficas de órgãos como IBGE e INPE. Por fim, a coleta de amostras, com o propósito da construção do mapa de cobertura da terra do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro para os anos de 2000, 2010 e 2020, através da classificação supervisionada *pixel a pixel*.

Os limites municipais, que compõem o estado do Rio de Janeiro em arquivo vetorial, (IBGE, 2018) foram devidamente editados para construção dos limites do OMRJ. O próximo passo foi a aquisição das imagens com correção atmosférica dos sensores TM/Landsat 5, ETM+/Landsat 7 (EarthExplorer/USGS, 2021), órbita ponto 217/076 e MUX/CBERS-4A (INPE), órbitas ponto 199/142 e 199/141, com datas de imageamento de 22/08/2000, 26/08/2010 e 18/09/2020, respectivamente.

**Figura 5 - Fluxograma metodológico**

Fonte: Autora (2022).

Como base cartográfica de referência, empregaram-se os limites municipais do estado do Rio de Janeiro fornecidos pelo IBGE (2018), os quais foram editados para delimitar a região de estudo conforme a proposta de Silva (2020). O processamento dos dados foi realizado integralmente no *software* QGIS 3.18, utilizando-se dois *plugins* principais: o *Dzetsaka* para execução da classificação supervisionada *pixel a pixel* baseada no Modelo de Mistura Gaussiano (OLIVEIRA, 2011), e o *AcATaMa* para avaliação da acurácia dos mapas temáticos gerados. A definição das classes de cobertura seguiu a taxonomia proposta pelo Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (1992) e por Sousa et al. (2012), resultando em dez categorias temáticas.

Metodologicamente, as imagens foram inicialmente submetidas ao empilhamento de bandas (*stack*), para as imagens do CBERS-4A, foi construído um mosaico utilizando a ferramenta criar mosaico *QGIS* 3.18. Esta ferramenta permite combinar múltiplas cenas *raster* em um único arquivo virtual sem reprocessar os dados *pixel*, mantendo a integridade dos valores originais.

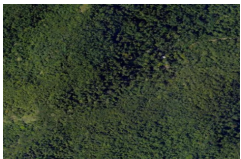
Após a construção do mosaico, as imagens (Landsat e CBERS) foram recortadas mediante um polígono vetorial correspondente aos limites do OMRJ acrescido de buffer de 1 km, garantindo assim a inclusão integral da área de interesse e uma zona de amortecimento para minimizar efeitos de borda. As amostras de treinamento para a classificação supervisionada foram coletadas mediante interpretação visual baseada na composição RGB (*red, green e blue*) por ser a melhor composição para realizar análises e estudos de uso e cobertura da terra e expansão urbana (FORESTI, 1987) e no conhecimento prévio da área.



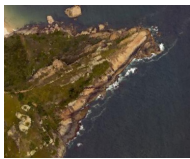
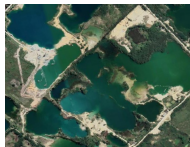
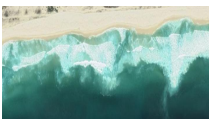
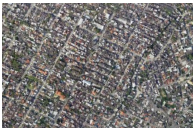
Após a classificação inicial, foi identificada a necessidade de correções nas classificações, a fim de melhorar a classificação, pois foi possível perceber erros no arquivo gerado. Isto pode estar relacionado com problemas na seleção das amostras coletadas. Esses ajustes foram realizados por meio de uma edição manual através da conversão do *raster* classificado para formato vetorial, permitindo a edição de polígonos por classificação visual para melhor precisão do mapeamento para cada classe identificada.

Os três mapas de classificação da cobertura da terra foram gerados a partir da criação de um arquivo vetorial contendo as amostras, empregando as chaves de interpretação (FLORENZANO, 2002; NOVO, 2010) definidas no Quadro 1. As dez classes de cobertura definidas conforme o (Quadro 1) seguem o exposto por IBGE (1992) e Sousa et al., (2012). Estas classes foram estabelecidas com base em aspectos presentes na cena, tais como a vegetação, sendo ela natural e cultivada, água, rocha, areia e demais superfícies semelhantes, assim como as construções antrópicas que recobrem a superfície da terra. (BURLEY, 1961).

Quadro 1: Chave de interpretação com definição das classes de cobertura da terra

Nome da classe	Definição
Floresta 	Compreendem áreas com formações arbóreas, incluindo as áreas de floresta densa.
Manguezal 	Compreendem áreas de zonas úmidas onde se tem o ecossistema costeiro de transição entre os biomas terrestre e marinho.
Gramínea 	Área de pastagem cuja altura pode variar de alguns centímetros a alguns metros.
Restinga 	Áreas com vegetação rasteira que se estabelecem sobre solos arenosos próximas ao mar, em praias, dunas, etc.



Afloramento rochoso 	Exposição natural em superfície, de rocha ou mineral.
Solo exposto 	Compreende terrenos com ausência de vegetação e construções.
Extração de areia / mineração 	Compreende as áreas com atividades de extração de areia (Areal) e mineração.
Corpos d'água 	Lagos, rios e mar.
Praia 	Compreendem as áreas planas cobertas de areia ou de pequenos seixos, que confina com o mar.
Área urbanizada 	Áreas de uso intensivo, marcadas por edificações e sistema viário.

Fonte: IBGE (1992) e SOUSA et al., (2012).

A primeira classe identificada foi a de floresta, que compreende as áreas com formações arbóreas com uma alta densidade de árvores de grande porte que cobrem uma grande extensão de terra. Estas estão distribuídas de forma concentrada em áreas que



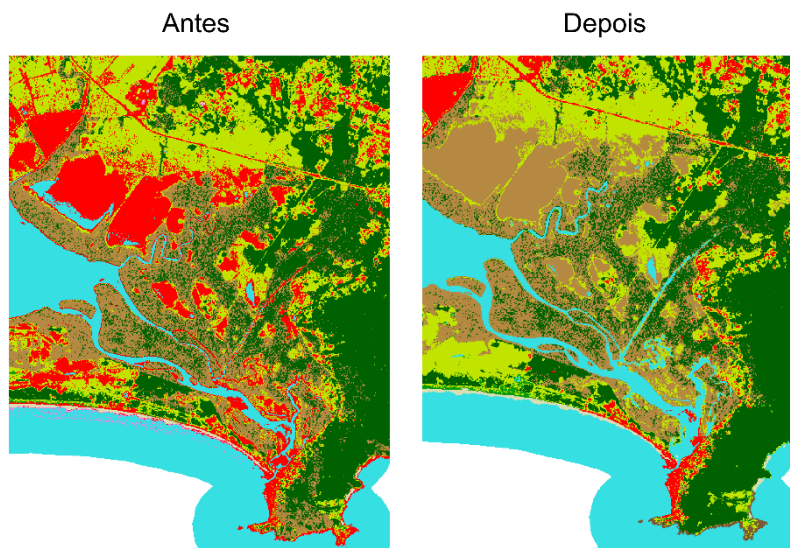
apresentam relevos montanhosos, como os maciços da Pedra Branca e Gericinó-Mendanha, assim os pontos em que contém a presença desta classe estão perfeitamente visíveis e identificáveis.

A segunda classe reconhecida foi o manguezal, essa classe está localizada em áreas costeiras e de transição entre os ambientes terrestres e marinho. Desta forma, esta categoria pode ser vista em todo o litoral do Oeste Metropolitano, com a sua maior ocorrência sendo no território de Guaratiba, seguindo da Pedra de Guaratiba até a Barra de Guaratiba.

A próxima classe definida foi a de gramíneas, sendo esta categoria ampla, composta por plantas de pequeno porte, por exemplo, plantas perenes, herbáceas e rizomatosas (gramas) ou lenhosas e arbóreas muito comuns em regiões tropicais ou em áreas temperadas. Foi reconhecido que o território do OMRJ é composto essencialmente pela classe definida como gramíneas, sendo está diferente das demais classes, é a única que está presente em toda a área de estudo, essencialmente nos municípios de Seropédica, Japeri e Paracambi.

A classe identificada como restinga foi constatada a presença de vegetação de restinga na área da praia, já que esta vegetação é localizada em terreno arenoso e salino, próximo ao mar e coberto de plantas herbáceas características, em sua grande maioria rasteiras. Como consequência das características desse tipo de vegetação rasteira e distribuída de forma espalhada, diferentemente das florestas, na primeira classificação ocorreram confusões com a classe de área urbana e florestas e erros. Entretanto, assim como as outras categorias tiveram imensas melhorias depois do ajuste dos *pixels*/polígonos (Figura 6) aconteceu o mesmo com as áreas de restinga, obteve-se uma melhor precisão na classificação dessa categoria.

Figura 6 – Antes x Depois da classificação após o ajuste das amostras



Fonte: Autora (2022).

Em seguida, a classe reconhecida foi a de afloramento rochoso, foi possível identificar que a maioria das áreas com exposição de rocha na superfície está localizada em sua maioria



nas áreas litorâneas, sendo estes afloramentos naturais, já que são resultados de processos naturais como erosão, deslizamentos de solos em rios, cachoeiras, etc. Foram identificadas pequenas quantidades no entorno de áreas urbanas, e provavelmente são afloramentos artificiais que são resultantes de ações do homem, por exemplo, cortes de estradas, poços e túneis, levando em consideração que estão localizadas ao lado de áreas urbanizadas.

A outra classe reconhecida foi a de solo exposto, sendo está localizada em pontos distintos na região do OMRJ e não possuem uma extensão territorial vasta, sendo encontrada apenas em áreas de gramíneas e por não ter uma maior extensão acaba sendo difícil até a sua visualização no mapa de cobertura da terra.

A classe de extração de areia/mineração, foi possível perceber que as áreas onde ocorre a extração de areia, chamadas comumente de areais, em sua grande maioria ficam localizadas no município de Seropédica e as áreas que contêm mineração estão distribuídas pelo território do OMRJ, mas em grande parte estão próximas de áreas de floresta densa. Esta classe na primeira classificação acabou tendo confusões com a areia da praia, isto é, alguns *pixels* foram identificados na faixa praiana, principalmente na região que tem a “quebra” das ondas, pois sua refletância na imagem de satélite utilizada ficou bastante parecida com a dos areais.

Na sequência, a classe identificada foi corpos d’água, que corresponde aos rios, lagos e mar que correm na área de estudo. Com a classificação foi possível analisar a trajetória dos rios. Estes se originam nas áreas montanhosas e correm em direção ao litoral onde deságuam no oceano, percorrendo a região do OMRJ e locais que têm a presença de lagoas. Em virtude da coloração escura das águas em certas áreas de sua trajetória e em diversos pontos em que as margens são cobertas por vegetação, ocorreram inúmeras confusões na classificação com a classe de gramíneas. Porém, tais erros foram corrigidos por meio do ajuste manual, dessa forma melhorando a visibilidade dos corpos hídricos.

A classe seguinte identificada foi a praia, sendo está a faixa coberta de partículas soltas de areia ou fragmentos rochosos e banhada pelo mar, localizada na região litorânea do Rio de Janeiro. Ocorreram confusões na classificação entre a classe da praia e a da extração de areia/mineração.

Por último, a classe identificada foi a de área urbanizada, sendo esta compreendida por superfícies construídas, com uma elevada densidade de população e de emprego e redes consideráveis de infraestrutura de transportes. Analisando o mapa de cobertura da terra do OMRJ é possível perceber que a maior densidade de área urbana se encontra na cidade do Rio de Janeiro, sendo seguida pelo município de Nova Iguaçu e Itaguaí. A mancha urbana da cidade do RJ se deve ao fluxo econômico que ocorre nesta região, no município de Nova Iguaçu se deve ao processo de expansão urbana que se teve nesta região com as pessoas se mudando para a baixada, por conta do custo de vida mais barato. Porém, ainda possibilitando o acesso dessa população às áreas em que estes trabalham, visto que uma grande quantidade de pessoas trabalha no centro e mora em zonas mais afastadas. E por fim, Itaguaí se deve ao porto estabelecido neste município, que possui um intenso fluxo de mercadorias e pessoas diariamente, principalmente quando pensamos que um dos motivos da construção do Arco Metropolitano foi facilitar o acesso ao porto.



Com a chave de interpretação e as classificações obtidas, foram atribuídas cores para todas as classes identificadas nas cenas, sendo elas:

- Floresta: verde-escuro
- Manguezal: marrom-claro
- Gramíneas: verde-claro
- Restinga: verde musgo
- Afloramento rochoso: marrom escuro
- Solo exposto: bege
- Extração de areia/mineração: rosa
- Corpos d'água: azul
- Praia: cinza
- Área urbanizada: vermelho

Aliada à classificação supervisionada, foi realizada uma validação da acurácia de cada mapeamento de cobertura da terra feito. A validação da exatidão dos mapas temáticos foi realizada mediante o *plugin AcATaMa (Accuracy Assessment of Thematic Maps)* no ambiente *QGIS 3.18*, seguindo um protocolo baseado em amostragem aleatória estratificada. Para a validação, foi gerada uma camada de pontos aleatórios sobre a área de estudo. Após, foi realizada uma comparação mediante interpretação visual comparativa com a composição RGB das imagens originais, o mapa classificado e imagens de alta resolução espacial disponíveis do *Google Satélite*, dado que o trabalho de campo foi inviabilizado pelas restrições da pandemia de COVID-19. Assim, pode-se comparar se a classe definida na classificação é compatível com a presença da classe na imagem de satélite.

Com as classes de referência devidamente atribuídas, o *AcATaMa* calculou automaticamente a matriz de confusão, que contrasta as classes mapeadas com as classes de referência. A partir desta matriz, foram derivadas as métricas de exatidão, incluindo a exatidão global (proporção total de acertos), a exatidão do produtor (que reflete os erros de omissão) e a exatidão do utilizador (que reflete os erros de comissão). Adicionalmente, calculou-se o coeficiente Kappa, que quantifica a concordância entre o mapa e a referência após excluir os acertos aleatórios. Os valores obtidos, com exatidões globais entre 0,88 e 0,90 após a edição manual, atestam a alta confiabilidade do mapeamento realizado. As classes que inicialmente apresentaram menor exatidão, como praia e extração de areia, devido à similaridade espectral entre si, foram subsequentemente refinadas por meio de edição vetorial manual, assegurando a fidelidade final do produto cartográfico.

RESULTADOS

Como resultados alcançados são apresentados três mapas de cobertura da terra da região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro através da classificação supervisionada, total de área modificada (em km²) e avaliação da acurácia dos mapas temáticos, utilizando os complementos *Dzetsaka* e *AcATaMa*.

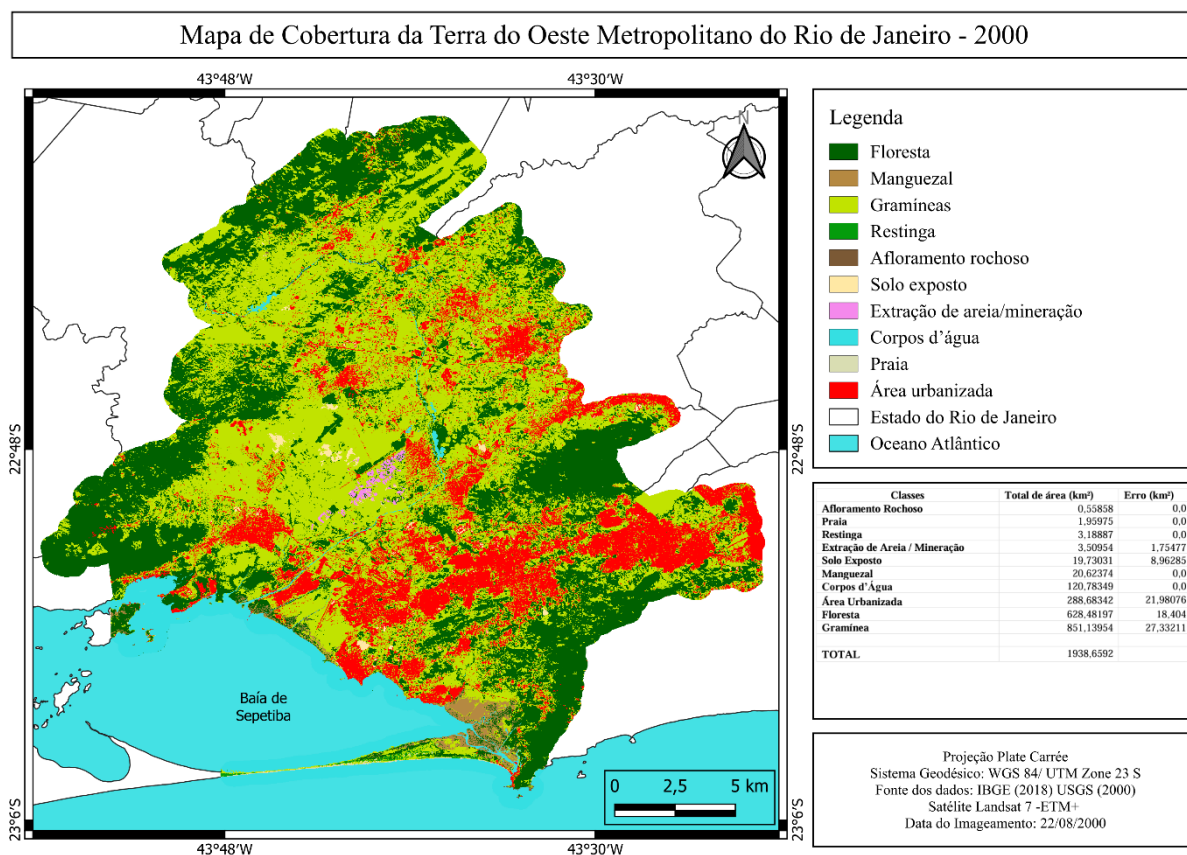


Mapa de Cobertura do OMRJ 2000

A Figura 7 apresenta o mapa de cobertura referente ao ano de 2000, que revelou uma paisagem dominada por áreas naturais. Ao analisar o mapa, é possível identificar que o município de Seropédica era fundamentalmente coberto por vegetação e apresentava um núcleo urbano menor. Os areais estavam distribuídos em menor medida. A Floresta Nacional Mário Xavier (FLONA) apresentava um adensamento vegetal maior. Ao analisar o total de área por classe, pode-se perceber que a classe com maior incidência neste mapeamento é a de Gramínea, com aproximadamente 851,1 km² distribuída de forma homogênea por toda a região.

A classe Floresta foi a segunda maior, com cerca de 628,4 km², com maiores concentrações nas áreas serranas, como nos maciços da Pedra Branca e de Gericinó-Mendanha. E a classe de Área urbanizada já se mostrava significativa, cobrindo 288,7 km², com os principais núcleos localizados no município do Rio de Janeiro, especialmente nos bairros da Zona Oeste e em Nova Iguaçu. Foi considerada como margem de erro as áreas que na validação foram identificadas como de outra classe, ou seja, áreas classificadas erroneamente.

Figura 7 - Mapa de Cobertura da Terra do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (2000)



Fonte: Autora (2022).



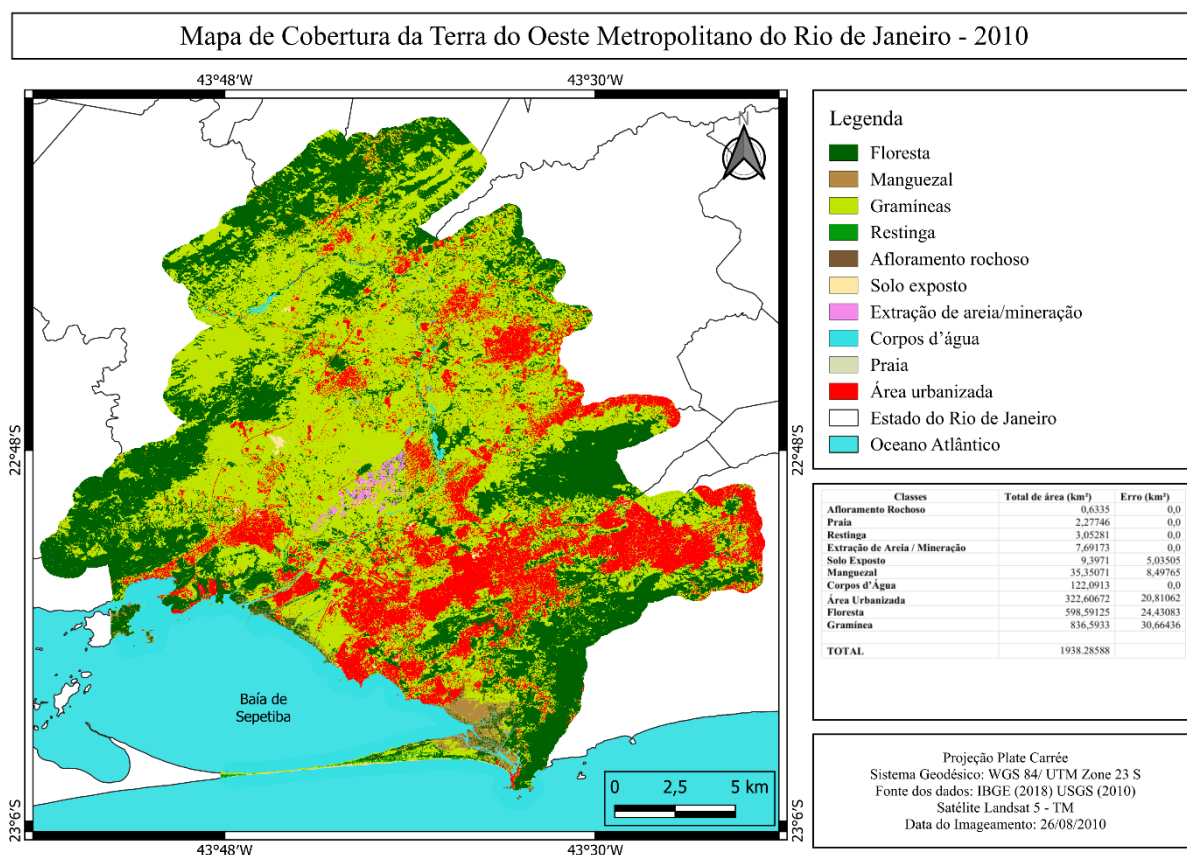
Mapa de Cobertura do OMRJ 2010

O mapa de cobertura da terra referente ao ano de 2010 (Figura 8) evidenciou transformações significativas na paisagem do OMRJ. A classe Gramínea permaneceu como a mais extensa, porém registrou uma redução para 836,6 km². Em sentido oposto, a Área urbanizada expandiu-se para 322,6 km², representando um acréscimo de 33,9 km² em relação a 2000. Essa expansão foi particularmente notável ao longo do eixo do Arco Metropolitano, até então em fase de construção, e no crescimento dos núcleos urbanos de Seropédica e Itaguaí.

A classe Floresta apresentou uma diminuição para 598,6 km², indicando processos de desmatamento, especialmente perceptíveis na Floresta Nacional Mário Xavier (FLONA) e nas áreas periurbanas dos bairros de Bangu e Santíssimo, no Rio de Janeiro. A classe Extração de areia/mineração duplicou de área, passando para 7,7 km², reflexo do incremento da atividade mineral na região. O Manguezal apresentou uma ampliação para 35,4 km², possivelmente em decorrência de refinamentos na discriminação espectral das áreas de transição. As demais classes mantiveram-se com áreas relativamente estáveis, sofrendo apenas pequenas variações.

A análise visual do mapa de 2010 permitiu identificar claramente a construção do trecho do Arco Metropolitano e o surgimento de novas vias de circulação intercortando as áreas de gramínea. O aumento das áreas de extração de areia e a consolidação da expansão urbana em Seropédica reforçam o caráter transformador desse período na configuração da cobertura da terra no Oeste Metropolitano.

Figura 8 - Mapa de Cobertura da Terra do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (2010)



Fonte: Autora (2022).

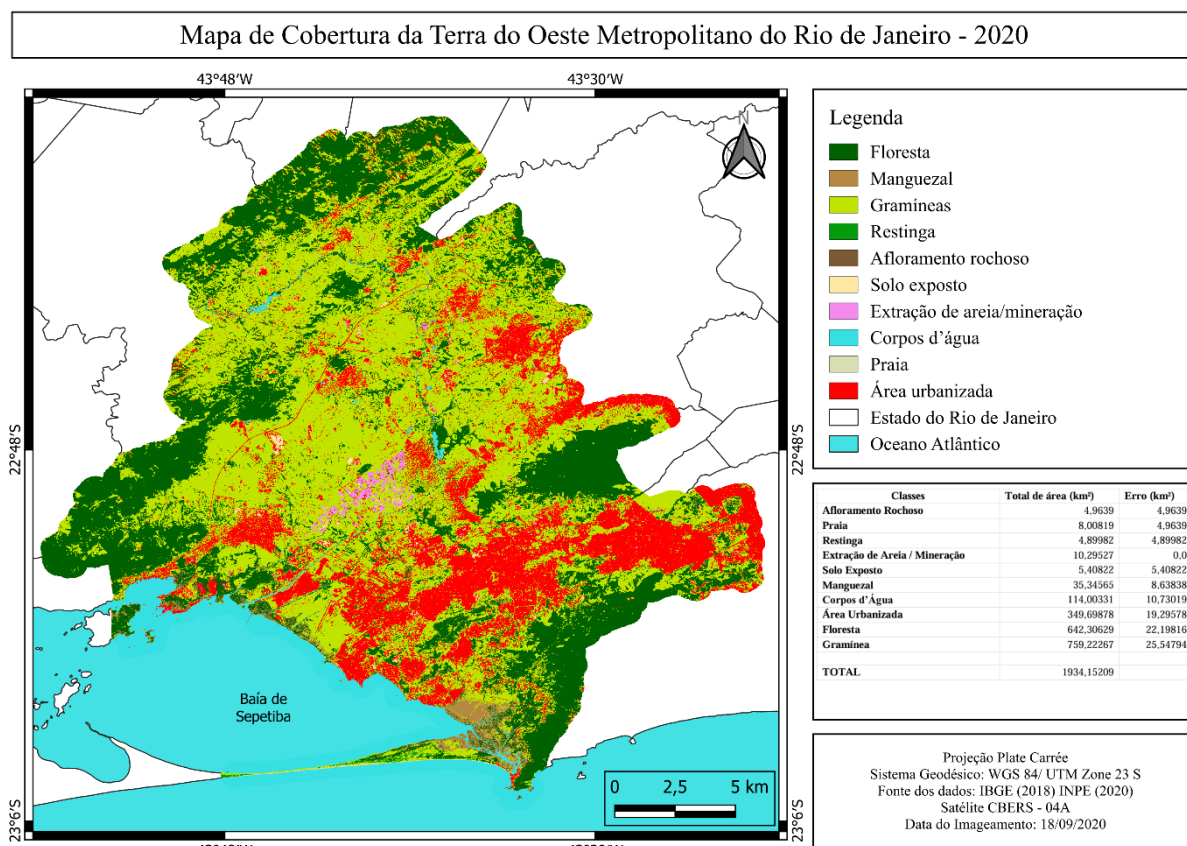


Mapa de Cobertura do OMRJ 2020

O mapa de cobertura da terra referente ao ano de 2020 (Figura 9), consolida as tendências de transformação observadas na década anterior e introduz novas dinâmicas territoriais. A classe de Área urbanizada atingiu sua maior extensão no período estudado, cerca de 349,7 km², confirmando a contínua expansão da mancha urbana, com destaque para os municípios do Rio de Janeiro e Nova Iguaçu. Contraditoriamente, nas regiões mais interioranas observou-se uma discreta diminuição de manchas urbanas isoladas, acompanhada pelo crescimento de áreas florestadas e de gramíneas, fenômeno possivelmente associado à migração populacional intrametropolitana, movimento pendular (RAMALHO, 2016) e a iniciativas de reflorestamento.

A classe Floresta recuperou parte de sua área, registrando 642,3 km², o que pode estar relacionado a processos de regeneração natural em áreas de encosta e à possível redução de pressão antrópica em determinadas localidades. Já a classe de Gramínea, embora ainda muito expressiva, com 759,2 km², apresentou a maior perda líquida ao longo dos 20 anos, sendo majoritariamente convertida para usos urbanos. As áreas de Extração de areia/mineração mantiveram uma trajetória expansionista, alcançando cerca de 10,3 km².

Destaca-se também o aumento considerável das áreas de Praia cerca de 8,0 km², e Afloramento rochoso com 5,0 km², aprimoramentos atribuídos principalmente aos refinamentos na classificação e à edição manual realizados neste mapeamento. Por outro lado, a classe de Solo exposto reduziu-se drasticamente para 5,4 km², sugerindo que áreas anteriormente mapeadas como tal foram convertidas para outros usos, como áreas urbanas e áreas de mineração, ao longo das duas décadas. Essa configuração final reflete um território em intensa reestruturação, marcado pela consolidação de vetores de expansão urbana e pela complexificação dos usos do solo na região.

**Figura 9 - Mapa de Cobertura da Terra do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (2020)**

Fonte: Autora (2022).

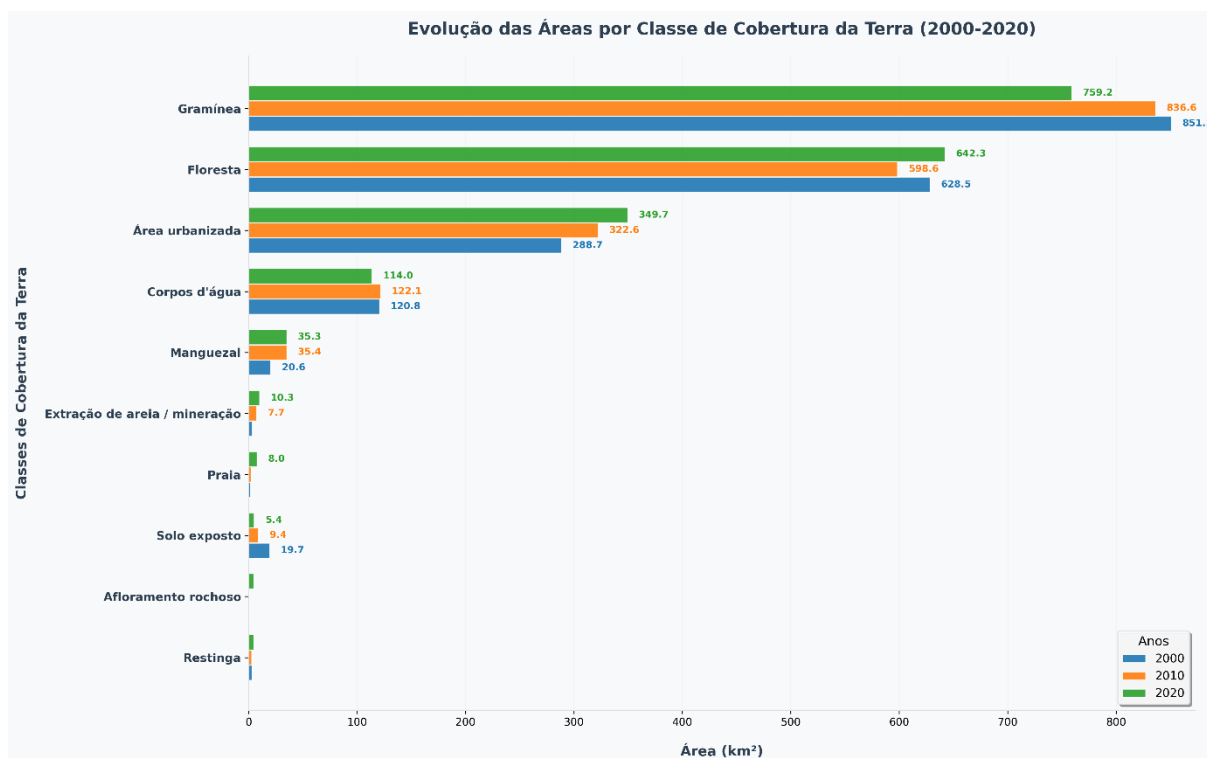
Evolução das Áreas por Classe

A Figura 10 demonstra a evolução das classes em relação a áreas, dentre elas é possível observar que quatro classes possuem maior quantitativo de áreas (km²) nos limites do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro durante os anos de 2000, 2010 e 2020, sendo elas: Gramínea, Floresta, Área urbanizada e Corpos d'água, respectivamente.

A análise do gráfico de evolução das áreas por classe de cobertura da terra no período de 2000 a 2020 revela dinâmicas territoriais distintas e significativas na região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro. As classes que apresentaram crescimento contínuo ao longo das duas décadas foram a Área urbanizada e a Extração de areia/mineração, refletindo, respectivamente, a expansão do processo de urbanização e o aumento das atividades extrativas na região. A classe Praia também registrou incremento expressivo, possivelmente em decorrência de refinamentos metodológicos na classificação ou de alterações morfológicas na zona costeira.



Figura 10 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra do OMRJ nos anos de 2000, 2010 e 2020



Fonte: Autora (2022).

Foi possível observar um comportamento variável na classe Floresta, que sofreu redução em 2010 (598,6 km²), mas recuperou parte de sua extensão em 2020 (642,3 km²), indicando a ocorrência de processos sequenciais de desmatamento e posterior regeneração natural. A classe Gramínea, embora tenha mantido a maior área em todos os anos analisados, apresentou tendência decrescente constante (851,1 km² em 2000; 836,6 km² em 2010; 739,2 km² em 2020), sugerindo sua conversão progressiva para outros usos, especialmente urbanos.

Já entre as classes que demonstraram relativa estabilidade estão as classes Corpos d'água, com pequenas oscilações ao longo do período (120,8 km² em 2000; 122,1 km² em 2010; 114,0 km² em 2020), e o Manguezal, que se manteve praticamente estável entre 2010 e 2020 após um aumento inicial. Por fim, a classe Solo exposto apresentou a redução mais expressiva (19,7 km² em 2000; 9,4 km² em 2010; 5,4 km² em 2020), indicando que áreas anteriormente identificadas como tal foram ocupadas por atividades antrópicas ou recuperadas pela vegetação.

Essas tendências evidenciam uma transição gradual da paisagem, marcada pela expansão das atividades antrópicas em detrimento de algumas classes naturais, embora com indícios de resiliência e recuperação em determinadas formações vegetais, como a floresta. O gráfico sintetiza, portanto, a complexa dinâmica de uso e cobertura da terra característica de uma região metropolitana em processo de reestruturação territorial.



Validação das Classificações

A Figura 11 apresenta uma tabela de comparação entre as acurácias obtidas (produtor e usuário) para cada classe utilizada na classificação.

Figura 11 – Comparação entre as Acurácias (Produtor e Usuário)

Comparação das Acurácias (2000, 2010 e 2020)						
Classe	Produtor 2000	Usuário 2000	Produtor 2010	Usuário 2010	Produtor 2020	Usuário 2020
1- Floresta	0,936	0,951	0,874	0,909	0,839	0,99
2- Manguezal	1,0	1,0	0,571	1,0	0,714	0,833
3- Gramínea	0,9	0,894	0,898	0,847	0,967	0,852
4- Restinga	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
5- Afloramento rochoso	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
6- Solo exposto	0,4	0,666	0,666	1,0	1,0	0,5
7- Extração de areia/mineração	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
8- Corpos d'água	1,0	1,0	1,0	1,0	0,013	0,875
9- Praia	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0
10- Área urbanizada	0,813	0,8	0,846	0,859	0,875	0,887
Total	0,901	0,901	0,881	0,881	0,893	0,893

Fonte: Autora (2022).

A análise dos resultados de acurácia dos mapeamentos de 2000, 2010 e 2020 revela padrões significativos quanto à qualidade da classificação. De modo geral, os valores obtidos após a edição manual podem ser considerados satisfatórios, com acurácias globais finais de 0,901 (2000), 0,881 (2010) e 0,893 (2020), enquadrando-se dentro de parâmetros de excelência para estudos de dinâmica de uso e cobertura da terra.

Verificou-se que várias classes apresentaram acurácias do produtor superiores a 0,80, com destaque para aquelas que alcançaram valor máximo (1,0) em diferentes anos, como Extração de areia/mineração, que manteve precisão ótima ao longo de toda a série temporal. Contudo, observou-se que algumas categorias exibiram desempenho variável ou insatisfatório em anos específicos. Em 2020, as classes Restinga e Afloramento rochoso registraram acurácia zero, possivelmente em decorrência da insuficiência de amostras de referência ou da alta complexidade espectral dessas feições. De forma semelhante, a classe Corpos d'água, que apresentou acurácias consistentes em 2000 e 2010 (1,0), sofreu expressiva queda na acurácia do produtor em 2020 (0,013), ainda que a acurácia do usuário tenha se mantido elevada (0,875), indicando possíveis erros de omissão na classificação desse período.

Os incrementos de 0,10 (2000) e 0,12 (2010 e 2020) na acurácia global atestam a importância do refinamento visual para a correção de inconsistências da classificação automatizada. Esse aprimoramento foi particularmente relevante para classes naturalmente mais suscetíveis a confusões espectrais, como Solo Exposto, cujos valores oscilaram consideravelmente ao longo dos anos.

Ressalta-se, por fim, que mesmo classes com acurácias aparentemente elevadas podem apresentar limitações representativas quando baseadas em um número reduzido de amostras, como observado para Restinga e Afloramento rochoso em 2020. Essa constatação reforça a necessidade de amostragens balanceadas e representativas em trabalhos futuros. Não obstante, os mapas finais produzidos demonstram qualidade técnica suficiente para embasar análises de mudança e planejamento territorial, validando a metodologia adotada como robusta e confiável para o mapeamento multitemporal na região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, as representações cartográficas possibilitam uma melhor compreensão do objeto de estudo, auxiliando na adoção de medidas, na compreensão dos eventos que ocorrem e ocorreram na área, e fornecendo uma base sólida para estudos e pesquisas futuras. Considerando os produtos desta pesquisa, a série temporal de três décadas do mapa de uso e cobertura da terra auxilia em questões ambientais diversas e em diversos âmbitos, como a construção de modelos de susceptibilidade aos incêndios (SOUSA et al., 2015), educação ambiental e planejamentos ambientais e urbanos (ARAÚJO FILHO et al., 2007).

Ao analisar os resultados obtidos, é possível perceber que apresentam bons índices, conforme observado na matriz de confusão e nos valores de acurácia global dos mapas temáticos. Os complementos *Dzetsaka* e *AcATaMa* mostraram-se viáveis para uso no *software* QGIS 3.18 para a realização da classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, utilizando satélites e sensores distintos, como foi o caso dos *rasters* do Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM+ e do CBERS-04A -MUX.

Dessa forma, tanto o *QGIS* quanto seus complementos, assim como as imagens de satélite de alta resolução, podem e devem ser utilizados em trabalhos futuros, independentemente da temática. O reconhecimento de campo e a validação não foram possíveis devido ao distanciamento social provocado pela pandemia da COVID-19. Contudo, por meio do mapeamento de uso e cobertura da terra, é possível obter dados e informações que podem auxiliar em diversas situações e em pesquisas futuras relacionadas à área do Oeste Metropolitano.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida para a execução desta pesquisa e à FAPERJ pelo Edital de Apoio aos Grupos Emergentes de 2019 pelos recursos empenhados para a criação do Laboratório Integrado de Geografia Física Aplicada - LiGA-UFRRJ.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Claudio Clemente Faria; DE MORAES NOVO, Evelyn Marcia Leão; MARTINS, Vitor Souza. *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações*. Ed.1. São José dos Campos/SP: LabISA/INPE, 2019.
- FERREIRA, E.; MACHADO, R. V.; ANDRADE, H. *Sensoriamento Remoto*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.
- PASSARGE, S. *Fundamentos da geografia das paisagens*. Hamburg: L. Friederuchen & Co., 1919. 127p.
- ROSA, R.; BRITO, J. L. S. *Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica*. Uberlândia: UFU, 1996.
- RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, Agostinho de Paula Brito. *Geoecologia das paisagens [livro eletrônico]: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022. 12.393 kb: il. color.; PDF.
- SOKOLONSKI, H. H. *Manual técnico de uso da terra*. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.



OLIVEIRA, Leandro Dias de. A emersão da região logístico-industrial do Extremo Oeste Metropolitano fluminense: reflexões sobre o processo contemporâneo de reestruturação territorial-produtiva. In: Espaço e Economia: Revista Brasileira de Geografia Econômica, ano IV, n. 7, julho-dezembro de 2015. Disponível em: <http://journals.openedition.org/espacoconomia/1814>. Acesso em: 03 de dezembro de 2021.

FAUVEL, Mathieu; DECHESNE, Clemente; ZULLO, Anthony; FERRATY, Frederic. Fast forward feature selection of hyperspectral images for classification with Gaussian mixture models. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Pavia/Itália, v. 8, n. 6, p. 2824-2831, 2015.

SOUSA, G.M.; FERNANDES, M.C.; COSTA, G.A.O.P. Classificação da Susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e GEOBIA. *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 67, p. 555-567, 2015.

SOUSA, G.M.; SANTOS, F.V.; FERNANDES, M.C. Mapeamento da Cobertura da Terra da APA Petrópolis/RJ utilizando análise baseada em objeto no sistema InterIMAGE. *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 64, p. 517-530, 2012.

FORESTI, C. Avaliação e monitoramento ambiental da expansão urbana do setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. Tese de doutoramento. São Paulo: USP, Departamento de Geografia, 1987.

SOUSA, G. M. Mapeamento Geoecológico da potencialidade à ocorrência de incêndios no Maciço da Pedra Branca/RJ. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2009. 143 f.

RODRIGUEZ, M.R.; SOUSA, G.M. Análise temporal da dinâmica dos incêndios no Parque Nacional de Itatiaia entre os anos de 2008 e 2018. In: Anais da V JGEOTEC.

SOUSA, G.M.; FERNANDES, M.C.; COSTA, G.A.O.P. Classificação da Susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e GEOBIA. In: *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 67, p. 555-567., 2015.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. Ecologia política, reestruturação territorial-produtiva e desenvolvimento sustentável no Brasil: lições do extremo oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Espaço e Economia [Online]*, 19 | 2020, posto online no dia 01 setembro 2020, consultado o 02 dezembro 2021. URL: <http://journals.openedition.org/espacoconomia/16203>; DOI: <https://doi.org/10.4000/espacoconomia.16203>.

OLIVEIRA, C. M. de; VIEIRA, F. H. T.; SOUSA, M. A. de; BORGES, M. A. de F. Ajuste de misturas gaussianas utilizando algoritmo de maximização da esperança e critério de comprimento de descrição mínimo para modelagem de tráfego VoIP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42., 2011. Anais [...]. P. 2690-2701.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.html.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

SILVA, M. R. Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro: debates sobre limites, fronteiras e territórios de uma região. *Espaço e Economia [Online]*, 19 | 2020. Consultado em 01 de dezembro de 2021. URL: <http://journals.openedition.org/espacoconomia/16343>; DOI: <https://doi.org/10.4000/espacoconomia.1634>.

Trueba, J. J. G. Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n. 59, p. 173-200, 2012.

Victor Tinoco. O Arco Metropolitano do Rio de Janeiro: modernização, acumulação e novo desenvolvimentismo. *Espaço e Economia [Online]*, 14 | 2019, posto online no dia 12 agosto 2019, consultado o 09 dezembro 2021. URL: <http://journals.openedition.org/espacoconomia/6136>; DOI: <https://doi.org/10.4000/espacoconomia.6136>.

ACATAMA, a Qgis plugin. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>. Acesso em: 20/07/2022.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020. Imagens de Satélites. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites>. Acesso em: 1 set. 2022.

EMBRAPA. Geotecnologias. Embrapa, 2015. Perguntas e respostas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 20 mai. 2022.



IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Centro de Documentação e Disseminação de Informações / IBGE, Rio de Janeiro, 92 p., 1992.

IBGE – Diretoria de Geociências. Limites municipais do Estado do Rio de Janeiro - Projeto RJ 25 em escala 1:25.000, 2018. Disponível em: https://geofip.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2018/shapefiles/bc25_rj_2018-05-21_shp.zip. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

IBGE, I. B. de G. e E. (2013). Manual Técnico de Uso da Terra. In: (IBGE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2016-2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, D, 1–26.

INSTITUTO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS - USGS. Aquisição de Imagens. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 maio. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sensoriamento Remoto: conceitos fundamentais e plataformas.

Llano, X. C. (2022). AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps, version XX.XX, <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. i de (Org.). *Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: UnB, 2012.

RAMALHO, H. M. de B.; BRITO, D. J. M. de. Migração intrametropolitana e mobilidade pendular: evidências para a região metropolitana do Recife. *Estudos Econômicos*, São Paulo, v. 46, n. 4, p. 823–877, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-416146483hrdb>