



MEIO AMBIENTE
E CLIMA

Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Clima

Nota Técnica

*Procedimentos metodológicos a partir de NDVI para identificação de
vegetação intraurbana, na cidade do Rio de Janeiro*

Vladimir da França Fernandes

Marcia Cristina Moraes Giannini

Iva Rosa Coppedè

Júlia Ribeiro Vieira

Luisa Pilar Marques Martins

Colaborador:

Lucas Honorio Gomes Ferreira

Junho de 2023

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para identificação de vegetação intraurbana, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) a partir de imagens do satélite Sentinel 2A, no município do Rio de Janeiro. O satélite apresenta boa resolução temporal, resolução espacial de 10m e suas imagens são fornecidas de forma gratuita. O cálculo do NDVI gera valores que indicam a atividade de clorofila nas plantas, possibilitando identificar a presença de vegetação no território. Esse índice também possibilita o monitoramento da saúde de cultivos e de florestas. Como metodologia o sensor passou por testes de validação das respostas do NDVI em diferentes datas, considerando dados pluviométricos de acordo com sua sazonalidade, apresentando resultados satisfatórios. A partir disso foram realizados os cálculos do índice para uma imagem mais recente, do ano de 2022. Como resultados foram obtidos valores de NDVI no intervalo de -0,4 e 0,93. Para a análise da vegetação intraurbana, foram encontradas algumas limitações relativas à resolução espacial do satélite. O efeito de mistura de pixels precisou ser avaliado para alguns direcionamentos da pesquisa, a fim de refinar a classificação da vegetação. Foram utilizadas localizações que continham corpos hídricos, solos expostos, área urbana e afloramento rochoso como identificadores para comprovação dos resultados. A partir disso foi determinado o intervalo de 0,45 a 0,93 para a vegetação intraurbana na cidade, procurando reduzir os efeitos dessa mistura de pixel observada. Desse modo, foi possível constatar que o NDVI é capaz de contribuir para o monitoramento da cobertura vegetal da cidade e pode servir para otimizar outros mapeamentos. A partir dos resultados expostos no presente trabalho, será possível realizar outros aprimoramentos e aplicações no planejamento ambiental no município e em outras escalas.

Palavras-chave: NDVI; vegetação intraurbana; Sensoriamento Remoto; Planejamento Ambiental.

ABSTRACT

This work presents a methodology for identifying intraurban vegetation, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Sentinel 2A satellite images, in the city of Rio de Janeiro. The satellite has good temporal resolution, spatial resolution of 10m and its images are provided for free. The NDVI calculation generates values that indicate the chlorophyll activity in the plants, making it possible to identify the presence of vegetation in the territory. This index also makes it possible to monitor the health of crops and forests. As a methodology, the sensor underwent validation tests of the NDVI responses on different dates, considering rainfall data according to their seasonality, presenting satisfactory results. From this, index calculations were performed for a more recent image, from the year of 2022. As results, NDVI values were obtained in the range of -0.4 and 0.93. For the analysis of intraurban vegetation, some limitations related to the spatial resolution of the satellite were found. The pixel blending effect needed to be evaluated for research directions in order to refine the vegetation classification. Locations containing water bodies, exposed soils, urban areas and rocky outcrops were used as identifiers to prove the results. From this, the range of 0.45 to 0.93 was determined for intraurban vegetation in the city, seeking to reduce the effects of this observed pixel blending. In this way, it was possible to verify that the NDVI is capable of contributing to the monitoring of the city's vegetation cover and can serve to optimize other mappings. From the results exposed in this work, it will be possible to carry out other improvements and applications in environmental planning in the municipality and in other scales.

Keywords: NDVI; intraurban vegetation; Remote Sensing; Environmental Planning.

Sumário

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	4
2. PROCEDIMENTOS DE ELABORAÇÃO	6
3. DEFINIÇÃO DA CLASSE DE VEGETAÇÃO	10
4. CONCLUSÕES	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A missão Sentinel-2 consiste em dois satélites desenvolvidos com o intuito de dar suporte aos estudos de: vegetação, cobertura do solo e monitoramento ambiental. O satélite Sentinel-2A foi lançado pela *ESA (European Space Agency – ESA)* em 23 de junho de 2015, operando em uma órbita síncrona com um ciclo de repetição de 10 dias. O segundo satélite idêntico (Sentinel-2B) foi lançado em 7 de março de 2017 e está operacional com aquisições de dados disponíveis no *EarthExplorer - USGS (United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos)*¹. Os Sentinel-2A e 2B estão inseridos na proposta de missão imageadora multiespectral do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security - Monitoramento Global de Meio Ambiente e Segurança*).

Nessa perspectiva, a escolha de trabalhar com uma cena deste satélite se deve ao seu lançamento recente, em meados de 2015, possuindo um registro contínuo e atualizado com certa frequência. Sendo assim, o satélite Sentinel promove conjuntos de imagens de boa resolução espacial e temporal para estudos ao redor do globo.

Características Gerais e Específicas:

Órbita: Circular, heliosíncrona, descendente, 98.5623° de inclinação, período de 98.46 minutos e altitude de 786 Km

Horário de Imageamento: **10 h 30 min AM.**

Bandas do Sensor:

- 4 bandas no visível e no infravermelho
- 6 bandas no “red edge” e no infravermelho de ondas curtas
- 3 bandas para correções atmosféricas

Resolução Espacial: 13 bandas, sendo:

- 4 delas com 10 m de resolução
- 6 delas com 20 m de resolução
- 3 delas com 60 m de resolução

NDVI

NDVI, sigla para *Normalized Difference Vegetation Index*, traduzindo, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, é um meio de mapeamento digital utilizado em áreas da agricultura, podendo ser usado para controle de vegetação natural ou urbana. Utiliza de sensores remotos para estipular a qualidade da vegetação.

¹ Vale ressaltar que o domínio para adquirir as imagens de satélite do Sentinel-2 mudou para a Agência Espacial Européia, mais especificamente para o Copernicus, programa de observação e fornecimento de dados terrestres, disponíveis a partir do site: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Durante a primeira fase da análise, as imagens foram adquiridas a partir do EarthExplorer - USGS.

Ilustrando o conceito acima, o propósito da tecnologia do NDVI é compreender ainda mais a dinâmica da vegetação, fazendo com que a quantidade de informações coletadas pelo produtor seja utilizada com maior eficiência, e de forma mais especializada, auxiliando na tomada de decisão técnica em relação aos eventos detectados, resultando na otimização de tempo, recursos e gerando o aumento da produção.

Um dos grandes proveitos do uso do NDVI é realizar as medições e análises de maneira remota, não tendo a necessidade de uma vistoria *in loco*, economizando tempo e recursos. Isso se deve a aplicação de sensores que captam informações em um intervalo de dias regulares. O NDVI captura a clorofila da vegetação, que por sua vez, é um dos diferentes pigmentos vegetais que funcionam como fotorreceptores na fotossíntese. O cálculo do índice é baseado nas bandas do Infravermelho Próximo e banda do Vermelho do espectro eletromagnético, uma vez que elas contêm mais de 90% da resposta espectral da vegetação, o que realça o seu comportamento (ROSA, 2007). Sendo assim, é possível mensurar a qualidade da vegetação, segundo o nível de clorofila encontrada na vegetação, de acordo com sua resposta espectral.

O trabalho de pesquisa do NDVI teve sua gênese no início da década de 70, na Universidade do Texas, com o Dr. John Rouge, pesquisador e diretor do Centro de Sensoriamento Remoto. Sua pesquisa teve tamanho êxito que em um curto período de tempo, após publicação de seus artigos científicos, a agência da NASA deu início a uma série de experimentos, aumentando ainda mais a utilização do NDVI. Como resultado de tantas pesquisas e trabalhos a utilização do algoritmo NDVI tornou-se comum nas agriculturas de precisão, tendo a sua aplicabilidade expandida para outros setores como: planejamento ambiental, urbano e práticas de desenvolvimento sustentável.

O NDVI não é uma tecnologia nova, tendo diversas aplicabilidades, e já estabelecido no meio técnico / acadêmico, sofreu diferentes atualizações e aperfeiçoamentos, até chegar no atual momento, possibilitando a determinação do índice de vegetação, através da leitura da reflectância das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, e assim, segundo FONTANA et al. (2019) possibilitando o monitoramento e determinação do acúmulo de biomassa das culturas.

Dessa forma, o algoritmo NDVI executa a medição baseado na reflectância da vegetação e analisa esses dados, gerando valores que são divididos em intervalos de classe. Essas classes variam entre -1 e 1, respondendo dessa forma a condição da vegetação, sendo que os valores mais próximos a 1 indicam uma vegetação sadia e -1 vegetação sem atividade ou não vegetação (Figura 1).

De acordo com FONTANA et al. (2019), é necessário destacar que, devido às características atmosféricas e topográficas do planeta Terra, o NDVI pode sofrer interferências em seus valores, de acordo com o horário (geometria de iluminação) e a nebulosidade presente no momento de captura da imagem de satélite a ser utilizada.

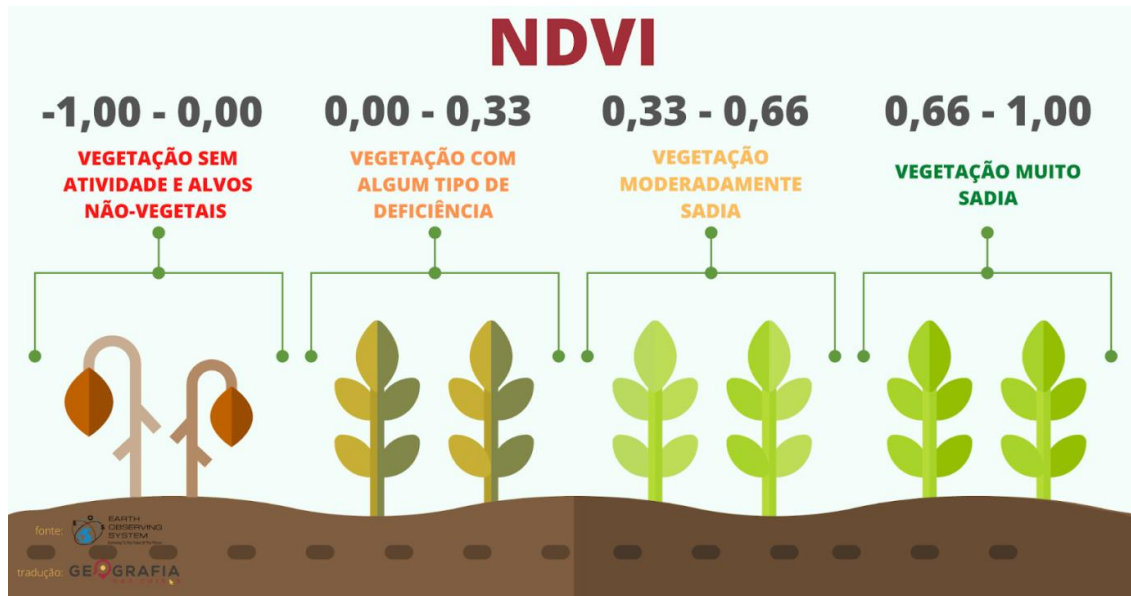


Figura 1 - Valores NDVI consagrados na bibliografia para vegetação. Fonte: EOS (2019).

2. PROCEDIMENTOS DE ELABORAÇÃO

Para realização do estudo, foi necessário o aprofundamento teórico sobre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), além da utilização de geotecnologias e ferramentas de geoprocessamento, definição de parâmetros de análises e a definição de pontos estratégicos sobre a dinâmica de uso do solo e vegetação dentro de malha urbana.

Comportamento Sazonal:

O NDVI é uma aplicação dos processos de destaque das operações matemáticas entre as bandas identificadas pelos sensores satelitários, utilizado na avaliação de biomassa, cobertura vegetal e na indicação de mudanças de padrão de uso e cobertura do solo.

Na primeira etapa, para analisar o comportamento sazonal da vegetação, foi necessário a obtenção de imagens de Sentinel-2 que contemplassem as estações do ano de maior carga térmica e pluviosidade (verão) e menor carga térmica e pluviosidade (inverno), assim, é possível entender o comportamento da vegetação em seus extremos, tendo em vista que, para o seu desenvolvimento, a vegetação necessita de água e luz solar.

De acordo com Teramoto, Benjumea, Gonçalves e Kiang (2018), a presença ou não de água é um dos fatores determinantes na intensidade da atividade fotossintética das plantas. Dessa forma, as estações do ano que apresentam maior pluviosidade (verão) e menor pluviosidade (inverno), bem como o total de chuvas registradas em diferentes anos, vão influenciar a quantidade de clorofila disponível na biomassa da vegetação. Logo, o NDVI apresenta um ciclo sazonal, podendo apresentar valores diferentes de acordo com as variáveis apresentadas acima.

Para obter uma melhor comparação entre as informações geradas pelo NDVI, foram selecionados dois anos díspares em relação à concentração de chuvas na cidade do Rio de Janeiro. Levando em consideração a data de criação do Sentinel, em 2015. Foram selecionados o ano de 2019, como o mais chuvoso, e 2017, como o ano mais seco.

Segundo os Relatórios Anuais de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro, dados do Sistema Alerta Rio indicam que o ano de 2019 apresentou a maior média acumulada de chuvas, com 127,9 mm ao mês. Já o ano de 2017 apresentou a média acumulada de 77,3 mm ao mês.

Para manter uma base de análise foram selecionadas algumas datas, seguindo os seguintes critérios:

- a. Estarem entre as estações de verão ou inverno;
- b. Imagem com presença de 10% de nuvens ou menos;
- c. Caso houvesse presença de nuvens na imagem, que não estivessem sobre a área de estudo.

Além disso, foram realizados levantamento, tabulação e análise de dados de chuvas das datas selecionadas e dos 3 dias precedentes para a verificação de eventos extremos de chuvas. Na análise foi verificado que não houve eventos extremos de chuvas, seguindo o critério de avaliação.

Sendo assim, as datas selecionadas foram: 10/03/2017; 28/07/2017; 29/01/2019; 18/06/2019.

Procedimentos para a elaboração do NDVI:

Seguindo algumas recomendações, para melhor visualização, foram escolhidas imagens com cobertura de nuvens menor que 10%. Em seguida, foi feito o download de imagens das datas escolhidas e 3 camadas foram selecionadas para a realização da análise: TCI (*True Color Image*); RED (vermelho); NIR (infravermelho próximo), todas com resolução espacial de 10m. Vale ressaltar que, para o cálculo do NDVI, foram utilizadas apenas as bandas RED e NIR, bandas 4 e 8, respectivamente.

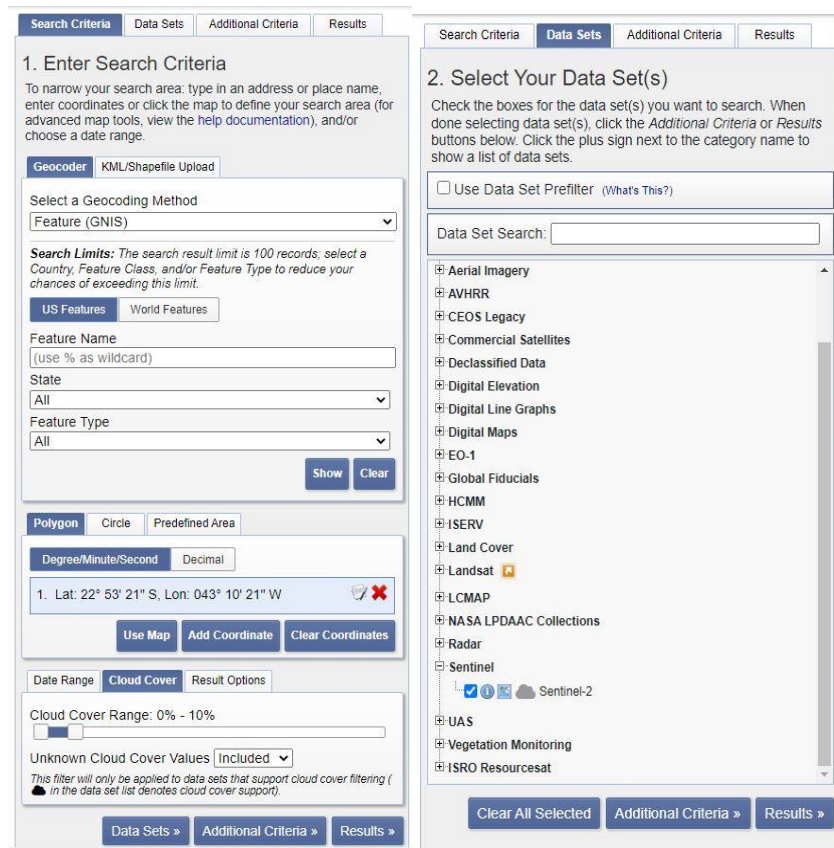


Figura 2 - Aba de critérios para obtenção de dados no site da USGS. Fonte: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Para as análises realizadas a partir de 2022, as imagens do satélite Sentinel-2, adquiridas através do Copernicus, antes de serem processadas, precisaram passar pela etapa de correção atmosférica, com o objetivo de corrigir os efeitos decorrentes da interação dos componentes da atmosfera com a radiação eletromagnética, que acaba gerando interferências na detecção da radiação pelos sensores e podem comprometer os resultados de análises. Krizek e Santos (2021, p. 878) afirmam que “O NDVI é sensível à influência da atmosfera, e sem a devida correção atmosférica, o NDVI dos alvos de vegetação tende a ser subestimado”. A correção foi feita utilizando o *plugin SPC* do *software QGIS*.

Após as correções, as bandas (B4 e B8) que são utilizadas no cálculo do Índice de Vegetação foram recortadas, utilizando a camada do município do Rio de Janeiro como máscara, com intuito de considerar somente a área de análise na geração do índice.

Através da ferramenta Calculadora Raster do *software ArcMap*, a partir da fórmula de NDVI, foram realizados os cálculos entre as bandas, gerando a imagem NDVI com os valores de mínimo e máximo do índice.

OBS: As imagens rasters geradas pelos cálculos devem ser salvas na extensão “.TIF”.

OBS 2: Fórmula utilizada para o cálculo: $Float (B8 - B4) / Float (B8 + B4)$

OBS 3: Nem todas as imagens irão gerar parâmetros de -1 a 1, devido a diferentes influências nas camadas utilizadas anteriormente, logo os extremos gerados não serão iguais.

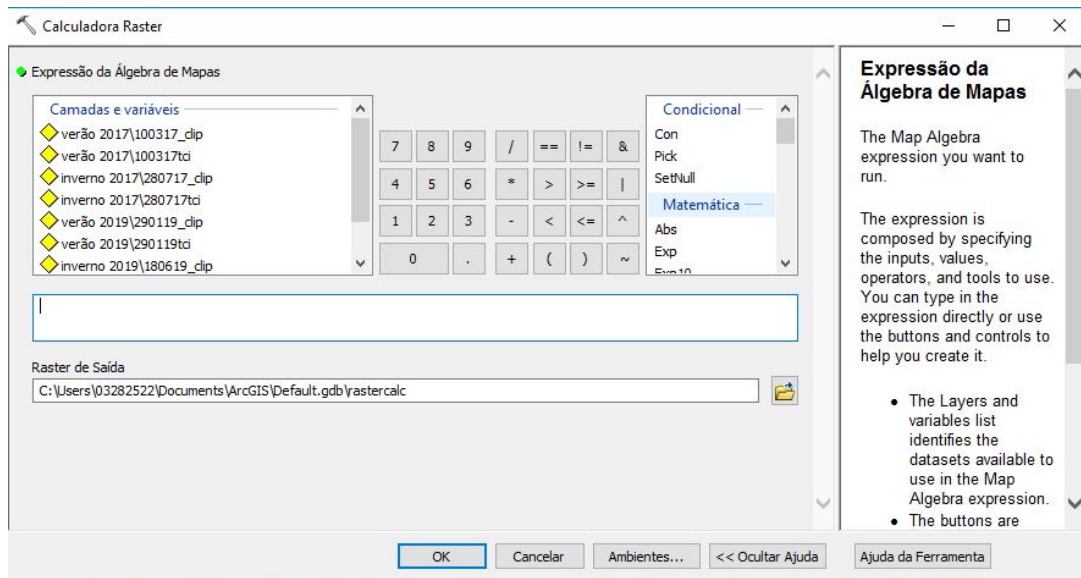


Figura 3 - Ferramentas do ArcMap (ferramentas de geoprocessamento). Fonte: ArcMap.

Utilizando da teoria do comportamento da vegetação ao NDVI, uma quantidade de classes (100) foi determinada para delimitar de forma mais adequada os estados de vegetação (os intervalos já citados). Esta delimitação foi feita por meio de observações da banda TCI (*True Color*); ortofoto 2019 do IPP (Instituto Pereira Passos)² e sensoriamento remoto de áreas reconhecidas com vegetação pelos técnicos e estagiários da prefeitura. A quantidade elevada de classes foi necessária para melhores visualizações e definição dos intervalos do NDVI.

Foram escolhidas algumas áreas na malha urbana para validar algumas informações do sensor, seguindo os seguintes critérios: vegetação dentro da malha urbana, áreas de solo exposto, áreas suscetíveis a queimadas, áreas de afloramento rochoso, praças e hortas públicas e áreas alagadas ou com corpo hídrico próximo (diferenciação entre água e vegetação).

Foram selecionados 31 pontos (Figura 4) de análise espalhados pela cidade do Rio de Janeiro, cada um contendo características de análise relevantes para o estudo, englobando atributos urbanos e ambientais importantes para a validação do cálculo do NDVI, observando principalmente a resposta vegetal dentro da malha urbana.

² Disponível em: <https://www.data.rio/apps/mapa-digital-do-rio-de-janeiro-cartografia/explore>

Pontos de Análise - Comportamento NDVI

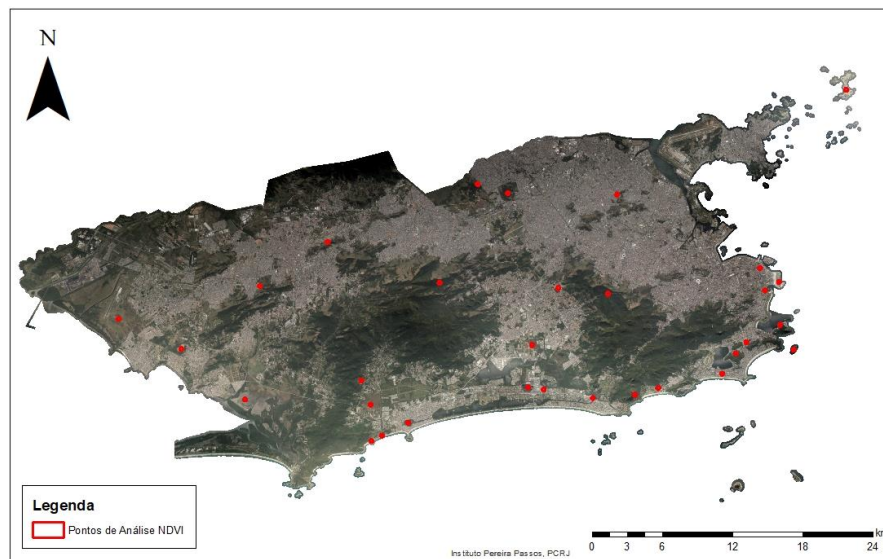


Figura 4 - Pontos analisados sobre o comportamento do NDVI, especialmente na análise da sazonalidade. Fonte: Elaboração própria.

Após a análise dos pontos das imagens TCI e NDVI de 2017 e 2019 e validação do sensor, imagens do ano de 2022 foram utilizadas para gerar um NDVI mais atual, e, a partir dele, analisar e mapear a vegetação intraurbana, da cidade do Rio de Janeiro.

3. DEFINIÇÃO DA CLASSE DE VEGETAÇÃO

Análise dos pontos

Através da análise dos pontos escolhidos e do recorte temporal delimitado (2017 e 2019), foi possível checar que o sensor do satélite estava identificando áreas vegetadas e não vegetadas de forma satisfatória, de acordo com a real cobertura do território, considerando as variações sazonais da atividade de clorofila, como por exemplo áreas vegetadas que, em determinada época do ano, se tornam secas ou sofrem com queimadas (ambas sem atividade fotossintética). As áreas vegetadas mostraram respostas de acordo com os efeitos bioclimáticos.

NDVI para o ano de 2022

A presente metodologia foi aplicada para gerar o NDVI da cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2022³, mapeando áreas de vegetação intraurbana. O intervalo de mínimo e máximo gerado foi de -0,4 e 0,93, respectivamente. (Figura 5).

³ A análise procurou utilizar os dados mais recentes oferecidos pelo repositório das imagens de satélite e que correspondiam com os critérios de seleção da imagem. Sendo assim, a imagem mais recente com melhor visualização do satélite Sentinel-2 é datada de 20/10/2022.

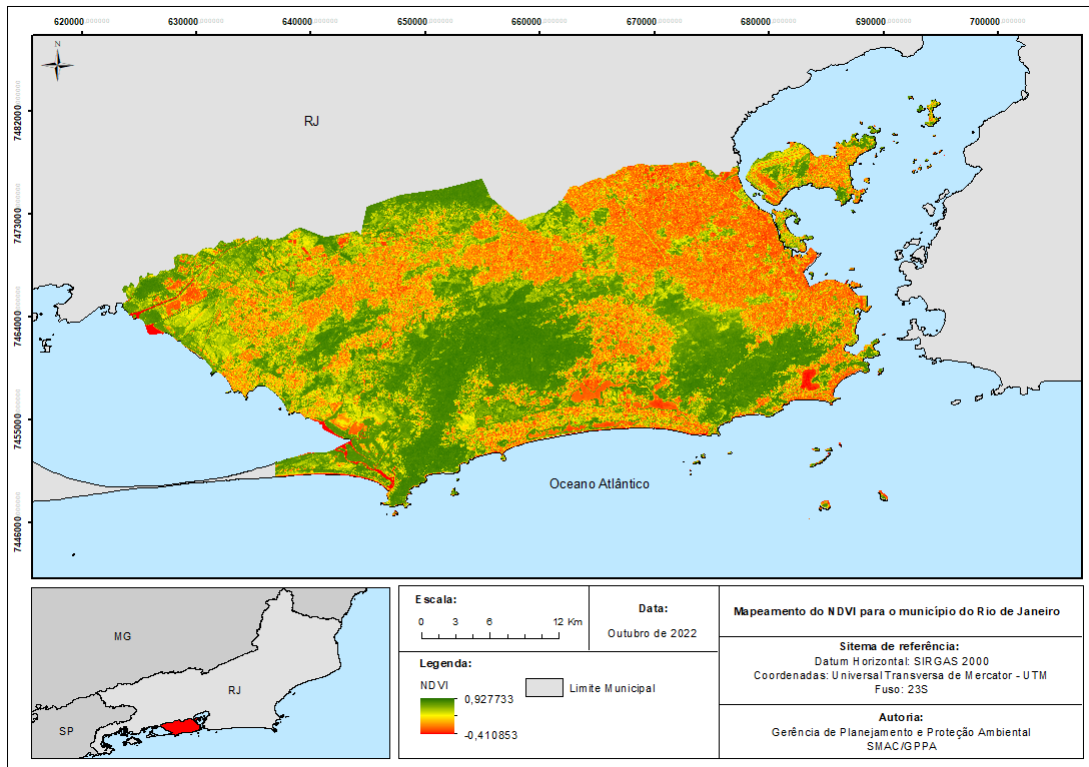


Figura 5 - NDVI de outubro de 2022 da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Elaboração própria.

Alguns obstáculos foram enfrentados nas análises do resultado do NDVI como problemas nas respostas onde havia algum tipo de sombreamento e definição dos intervalos de vegetação, sendo esses dois pontos de destaque ligados a limitações devido à resolução espacial do satélite.

Nas áreas com sombreamento, a resposta do NDVI apresentou valores similares ao de áreas vegetadas (isto no contraste de cores e no valor do *pixel*), trazendo informações errôneas comparadas às outras datas no mesmo local.

Em relação à definição dos intervalos, por causa da resolução espacial (10 m) das imagens Sentinel dentro de área urbana e pelos diversos tipos de cobertura da superfície em uma área muito pequena, ocorre o efeito conhecido como Mistura de *Pixel* (Figura 6)⁴. Um mesmo *pixel* pode englobar diferentes componentes da imagem, como por exemplo árvores, telhados, corpos hídricos, afloramento rochoso, etc. Para calcular um valor de *pixel*, uma média entre os valores de refletância dessas diferentes coberturas vai ser feita, ocasionando uma generalização. Dessa forma, em determinados pontos da imagem, componentes diferentes vão ser classificados em um mesmo valor, causando uma identificação equivocada, gerando resultados não satisfatórios. Sendo assim, quanto maior for o preenchimento da área de um *pixel* com somente um tipo de cobertura da superfície, mais preciso será o resultado.

⁴ Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692603/mod_resource/content/3/Aula7_SR_2020_Sensores.pdf>.

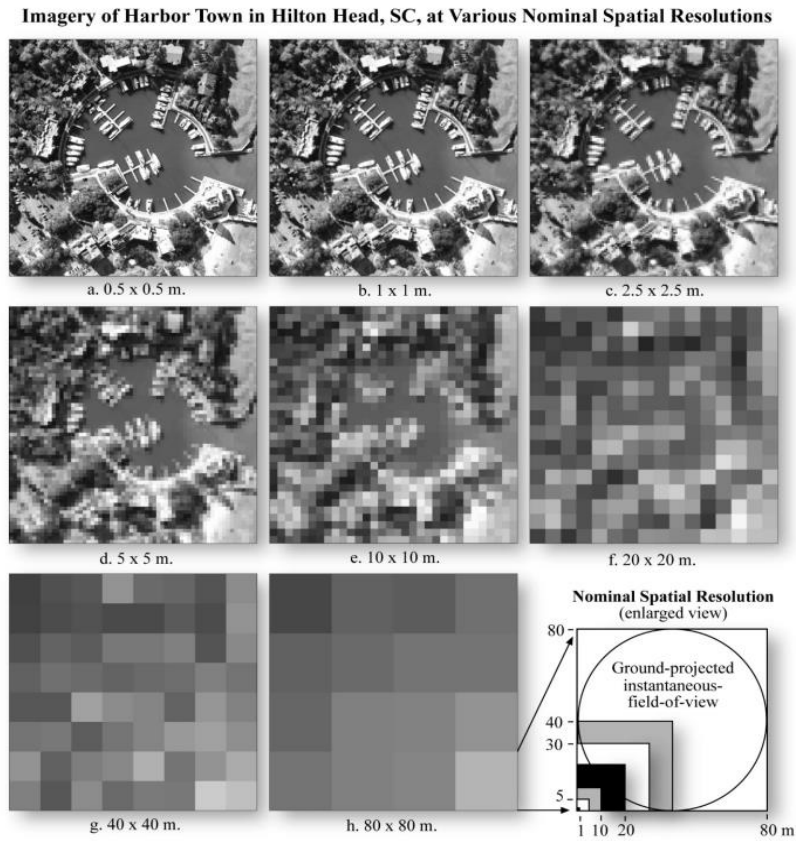


Figura 6 - Efeito de Mistura de *Pixel*. Jensen (2004). **Fonte:** E Disciplinas USP.

Tendo em vista a resposta do NDVI dentro da área urbana e considerando a resolução espacial de 10 m, para analisar melhor o efeito de mistura de pixel, diferentes tonalidades foram utilizadas (tons de vermelho, de verde e de azul) para entender como esse efeito estava interferindo na identificação da vegetação.

A partir disso, foi delimitado o valor de 0,45 (classes mais próximas a esse valor correspondem às tonalidades mais claras de verde) como valor de corte para vegetação em maior parte da área do pixel e, quanto maior o valor acima desse corte (classes que correspondem às tonalidades mais escuras de verde e tonalidades de azul), maior a resposta de clorofila e maior a porcentagem de vegetação dentro da área do pixel, até chegar ao valor máximo de 0,93. Valores abaixo de 0,45 (classes que correspondem à cor vermelha), já correspondiam a algumas áreas em que um mesmo *pixel* englobava pouca vegetação junto a outros tipos de cobertura, como áreas não vegetadas, rochas expostas e corpos d'água. (Figura 7 e 8).

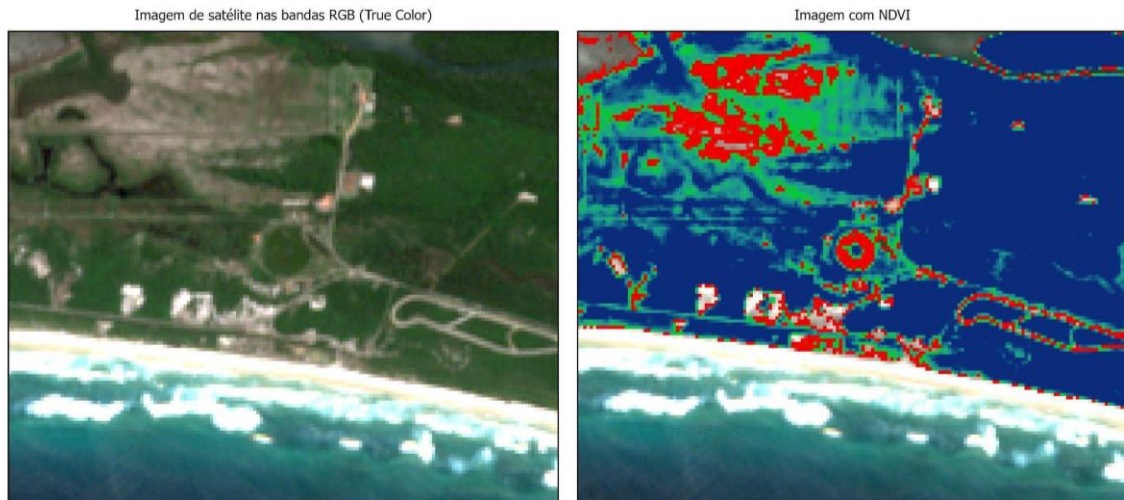


Figura 7 - Lago localizado próximo ao Bairro de Guaratiba, no Rio de Janeiro. Em vermelho é possível observar o corpo hídrico. Fonte: Elaboração própria.

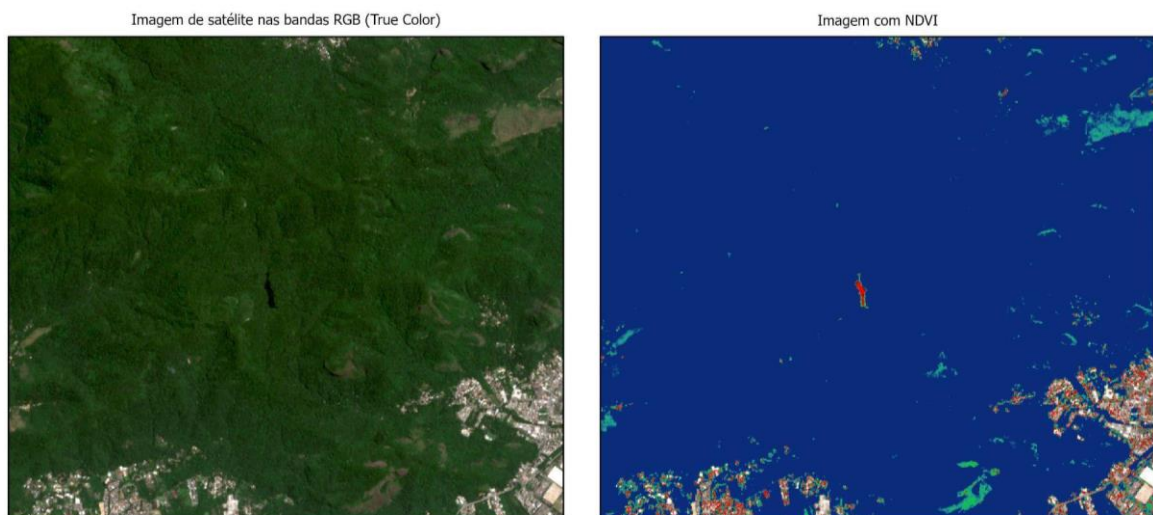


Figura 8 - Açude do Camorim, localizado no Parque Estadual da Pedra Branca. Fonte: Elaboração própria.

De acordo com TRINDADE et al. (2019), alguns estudos analisados encontraram valores de NDVI entre 0,01 e 0,02 em aglomerados urbanos e em corpos hídricos, valores próximos a zero. E, segundo Huete e Tucker (1991), os valores de NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30. Em outro estudo, COELHO et al. (2015) observou que valores mais baixos do NDVI, menores que 0,3, são correspondentes às áreas de solo exposto.

Sendo assim, a utilização do NDVI promoveu respostas satisfatórias ao analisar a vegetação intraurbana. Áreas de vegetação mais densa ou com determinada continuidade em sua extensão foram identificadas de forma correta. Árvores aglomeradas que preenchiam maior porcentagem da área do *pixel* também foram identificadas dentro do intervalo (0,45-0,93). Porém, vegetações mais espaçadas, em que a área do *pixel* englobava maior porcentagem de outra cobertura da superfície em relação à vegetação (classes que correspondem às tonalidades de vermelho), como por exemplo unidades de árvore em ruas, arbustos em solo arenoso e vegetação rupícola

em paredões rochosos, não foram consideradas para o valor de corte de vegetação, pois já começavam a gerar resultados que englobavam valores que não correspondiam a vegetação somente. Os *pixels* com tons avermelhados também aparecem em áreas de transição de um tipo de cobertura para outro, gerando um padrão de acompanhamento de bordas (Figura 9 e 10).

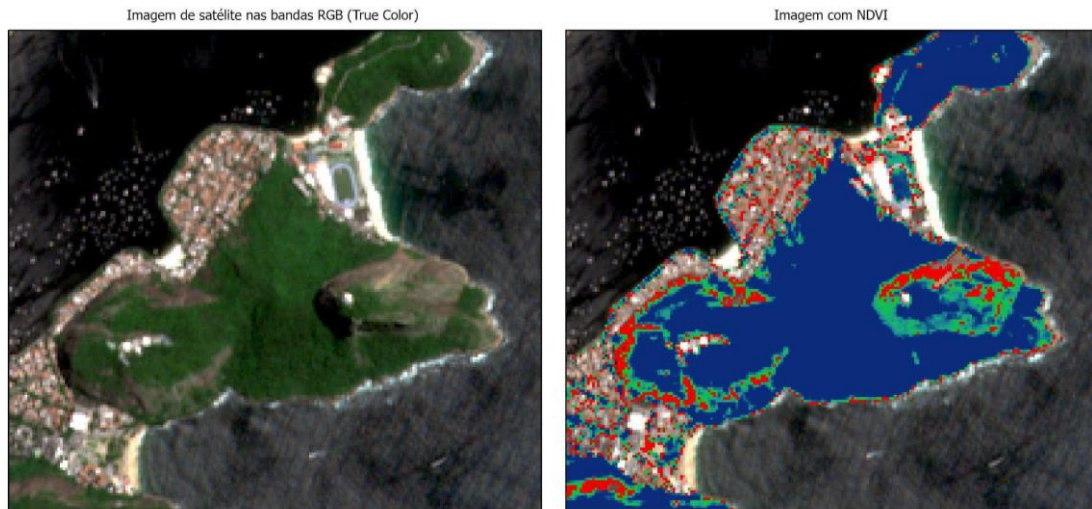


Figura 9 - Morro do Pão de Açúcar, representando uma amostra de afloramento rochoso com vegetação e sombreamento. Fonte: Elaboração própria.

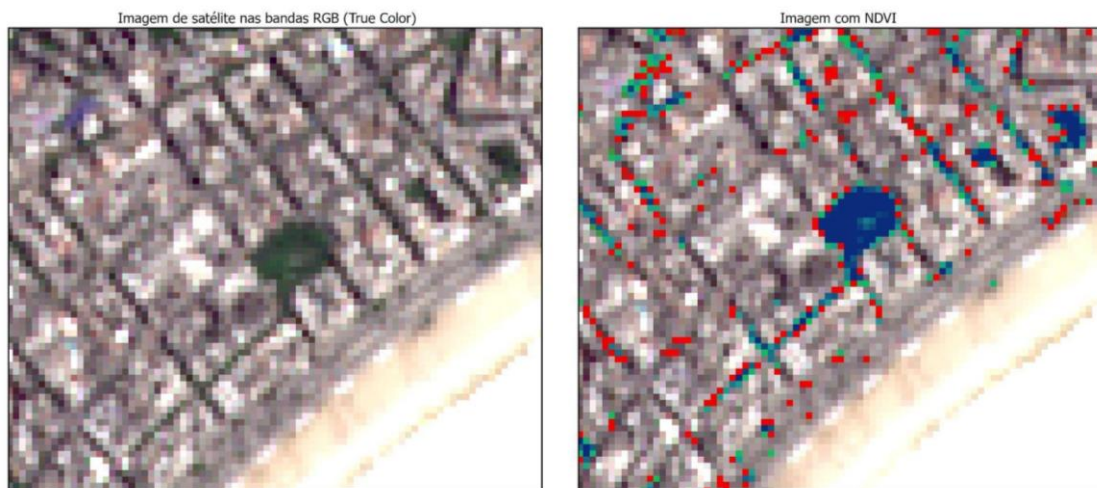


Figura 10 - Amostra de árvores espaçadas no bairro de Copacabana, correspondendo aos pixels em vermelho. Em azul, existe um aglomerado de vegetação em uma praça, correspondente aos pixels em azul/verde. Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, o intervalo escolhido é uma ponderação sobre a vegetação, não sendo uniforme devido a variações produzidas por fatores técnicos de limitação da pesquisa, assim como no sombreamento: resolução da imagem, movimento de órbita do satélite, grau de inclinação da Terra em relação ao satélite e cobertura de nuvem.

Para aplicação em outras pesquisas e análises foi feita a conversão da imagem Raster do NDVI para polígono por meio do programa ArcGIS PRO, gerando um mapa da cobertura vegetal da cidade, de forma aproximada (Figura 11).

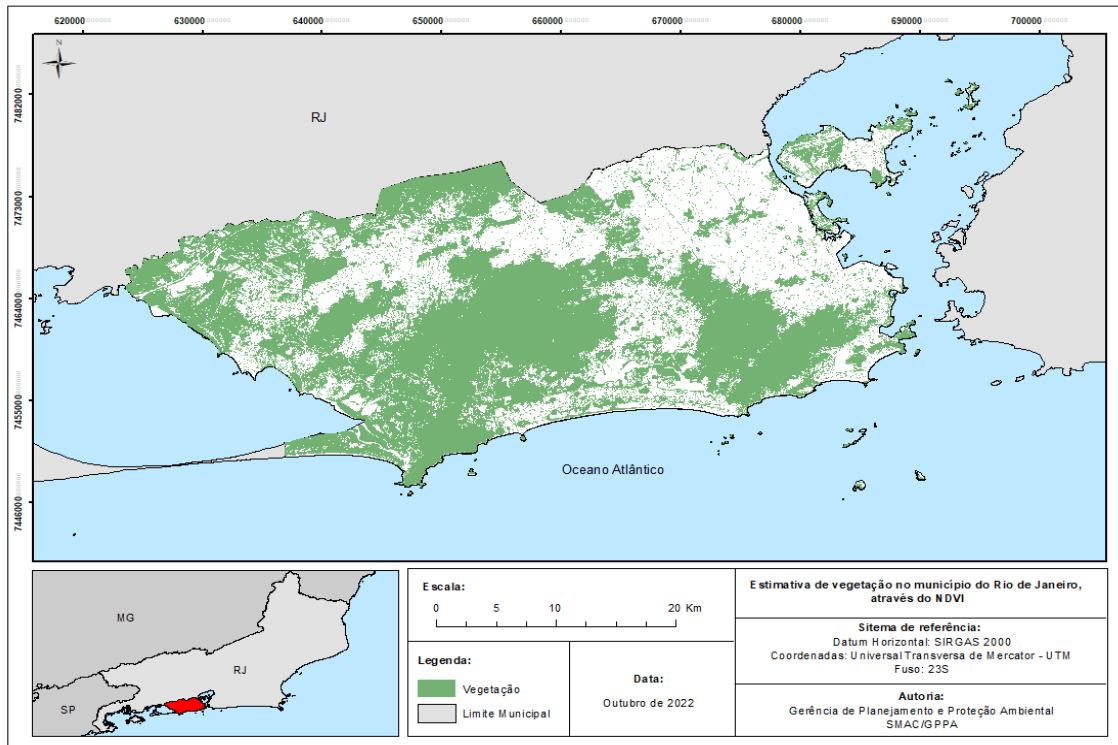


Figura 11 - Mapeamento baseado no NDVI de outubro de 2022 da cidade do Rio de Janeiro (cobertura vegetal aproximada). Fonte: Elaboração própria.

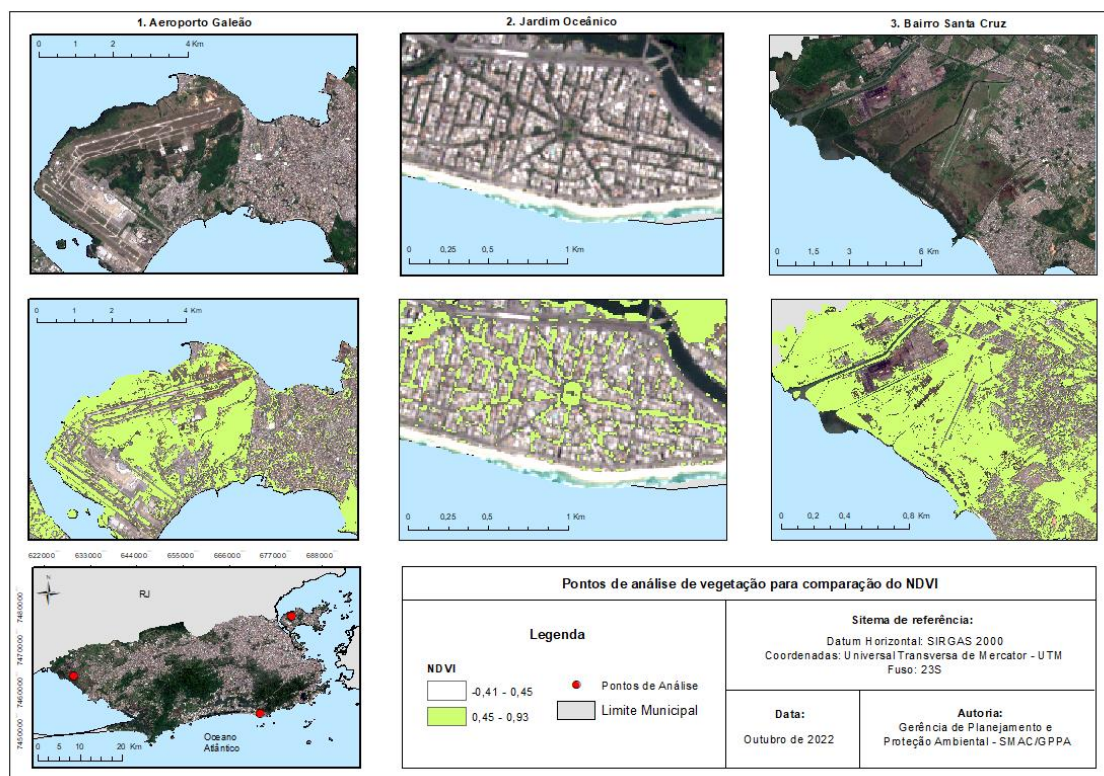


Figura 12 - Outras áreas de vegetação utilizadas para análise dos resultados do NDVI. Fonte: Elaboração própria.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir das análises expostas anteriormente ajudam a entender a dinâmica socioambiental da cidade do Rio de Janeiro. O uso do solo do município e sua intensa dicotomia entre urbano e área “natural” fornecem aspectos relevantes ao planejamento ambiental e planejamento urbano, visando uma convivência harmônica entre ambas as partes. Também podemos constatar a perda de influência do Estado em áreas ambientais devido às relações de poder socioeconômicos que estão presentes.

No que diz respeito ao monitoramento da cobertura vegetal da cidade, o NDVI ajuda na otimização da atividade. Ao identificar de forma mais precisa a vegetação presente, o Índice de Vegetação consegue apontar áreas com atividade de clorofila dentro de áreas identificadas, pelo SIG Florestas, como urbanas. Logo, a porcentagem de área verde da cidade aumenta e outros futuros estudos e análises podem ter seus resultados alterados, levando em consideração esse novo dado. O NDVI pode ajudar num refinamento e melhor classificação do mapeamento gerado pelo SIG Florestas, delimitando melhor a vegetação e diminuindo a generalização dos componentes das áreas urbanas.

Além disso, áreas como praças, aglomerados de árvores com golas, canteiros, jardins, campos de futebol, clubes e parques, que possuem cobertura vegetal, também foram destacadas na imagem NDVI. Esses locais representam áreas permeáveis dentro da malha urbana, e têm a capacidade de controlar a temperatura, poluição sonora, qualidade do ar e impactos negativos da dinâmica urbana na saúde mental dos cidadãos. Isso, em tempos de mudanças climáticas, principalmente em relação à intensificação e grande ocorrência de eventos de chuvas extremas, torna essas áreas de grande relevância no planejamento de políticas ambientais e de urbanização.

O uso de geotecnologias aplicado a estudos ambientais e sobre o território se mostrou de relevante importância. Os produtos de satélite, que são disponibilizados de forma gratuita, foram fundamentais para a análise do presente trabalho, mesmo apresentando algumas limitações.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, Ziany Neiva; BEZERRA, Marcus Vinicius Cândido; SILVA, BB da. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, 2007, INPE, p. 75-81.

BORATTO, Isa Maria de Paula; GOMIDE, Reinaldo Lúcio. Aplicações dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352.

COELHO, Victor Hugo Rabelo; GUSMÃO, Ana Claudia Villar e Luna; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; SILVA, Bernardo Barbosa da; VASCONCELOS, Rochele; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de. Índices de vegetação e temperatura da superfície por sensoriamento remoto em Bacia Hidrográfica do semiárido brasileiro. In: XXI Simpósio

Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Simpósio**. Brasília: 2015. p. 1-8. Disponível em: <file:///C:/Users/03377314/Downloads/PAP020723.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

EMBRAPA. Sentinel - Missão Sentinel. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 03 mar. 2023.

ENGESAT. Sentinel-2. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em 03 mar. 2023.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). Sentinel Online. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>. Acesso em 03 mar. 2023.

FERREIRA, Julia Fonseca; STETZ, Cristiano Cardoso; MARQUES, Eduardo Resende Girard; SCHOENINGER, Emerson Roberto; SCHERAIBER, Clewerson Frederico. Aplicação do sensoriamento remoto no manejo de florestas plantadas. Out. 2017. Apresentação do Powerpoint. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2017_Sensoreamento+Remoto.pdf. Acesso em 03 mar. 2023.

FONTANA, Denise Cybis Fontana; SANTOS, Leonardo Nascimento do; DAMALGO, Genei Antonio; SCHIRMBECK, Juliano; SCHIRMBECK, Lucimara. NDVI e alguns fatores de variabilidade. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos, São Paulo, 2019, INPE, p. 1780 - 1783.

GAIDA, William; BREUNIG, Fábio Marcelo; GALVÃO, Lênio Soares; PONZONI, Flávio Jorge. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. L.], v. 13, n. 01, p. 229-248, mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242735>. Acesso em: 02 mar. 2023.

HUETE, A. R. & TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.12, p. 1223-1242. 1991. <https://doi.org/10.1080/01431169108929723>

KRIZEK, João Pedro Ocanha; SANTOS, Luciana Cavalcanti Maia. Protocolo metodológico para obtenção dos valores de reflectância e de NDVI de imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 02, p. 869-880, abr. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244814>. Acesso em: 08 mar. 2023.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; DE OLIVEIRA, José Gerardo Bezerra. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega: O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

POVH, Fabrício Pinheiro; MOLIN, José Paulo; GIMENEZ, Leandro Maria; PAULETTI, Volnei; MOLIN, Rudimar; SALVI, José Vitor. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8 p. 1075-1083, 2008.

Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2017. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2016/07/rel2017.pdf>. Acesso em 03 mar. 2023.

Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2019. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_ANUAL_CHUVA_2019.pdf. Acesso em 03 mar. 2023.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; ROSA, Roberto. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da refletância aparente e de superfície. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos, São Paulo, 2017, INPE, p. 4181 - 4188.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6 ed. Uberlândia, Minas Gerais: EDUFU, 2007.

TERAMOTO, Elias Hideo; BENJUMEA, Maria Teresa; GONÇALVES, Roger; KIANG, Chang. Séries Temporais do Índice NDVI na Avaliação do Comportamento Sazonal do Aquífero Rio Claro. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 1135-1157, 30 set. 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n3-45986>.

TRINDADE, Ariadne Reinaldo; DUTRA, Vítor Abner Borges; TAVARES, Paulo Amador; SOUTO, Jefferson Inayan de Oliveira; BELTRÃO, Norma Ely Santos; RIBEIRO, Hebe Morganne Campos. Aplicação de índices de vegetação para identificação de área construída e vegetação densa em áreas urbanas na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Anais...** [S.L.]: 2019. p. 1647-1650.