

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS EDUCANDOS NA CIDADE DE MANAUS – AMAZONAS

APPLICATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) IN THE EDUCANDOS HYDROGRAPHIC BASIN IN THE CITY OF MANAUS – AMAZONAS

APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) EN LA CUENCA DE HIDROGRÁFICA EN EL EDUCANDOS EN LA CIUDAD DE MANAUS – AMAZONAS

Priscila Auxiliadora de Almeida Xavier¹ <https://orcid.org/0009-0007-2370-0703>

Mircia Ribeiro Fortes² <https://orcid.org/0000-0001-7965-6747>

RESUMO

Com o rápido avanço do processo de urbanização, aumenta-se a degradação ambiental, refletindo, assim, a relação conflituosa entre a sociedade e a natureza. Dessa maneira, o estudo objetivou analisar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica dos Educandos da cidade de Manaus – Amazonas no ano de 2017. Os procedimentos metodológicos pautaram-se em levantamentos bibliográficos, delimitação da bacia em estudo e na elaboração do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), juntamente, com o mapa de Área de Preservação Permanente, conforme a legislação vigente. Os dados foram coletados no site do USGS e TOPODATA/INPE e os processamentos cartográficos foram realizados no programa QGis e Google Earth. Com relação ao NDVI da Bacia dos Educandos, verificou-se que nas áreas mais próximas às margens do curso d'água principal foram registrados os menores valores do NDVI, assim, a ausência da vegetação, entretanto, no sentido nordeste da bacia, há uma tonalidade mais verde, indicando que essas áreas há a presença, bem como a preservação de vegetação de porte e disponibilidade hídrica. Indicando que a área da bacia foi bastante devastada.

Palavras-chave: Educandos. NDVI. APPs.

ABSTRACT

With the rapid advancement of the urbanization process, environmental degradation increases, thus reflecting the conflicting relationship between society and nature. In this way, the study aimed to analyze the vegetation cover in the watershed of Educandos in the city of Manaus - Amazonas in the year 2017. The methodological procedures were based on bibliographical surveys, delimitation of the basin under study and the elaboration of the index of Vegetation by Normalized Difference (NDVI), together with the Permanent Preservation Area map, in accordance with current legislation. Data were

¹ Graduada em Geografia e Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo - UFAM. E-mail: priscila.ufam2016@gmail.com

² Professora Adjunta do Curso de Graduação em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, Coordenadora da Pós-Graduação em Geografia (IFCHS/UFAM/PPGeo). E-mail: mirciafortes@ufam.edu.br

collected from the USGS and TOPODATA/INPE websites and cartographic processing was carried out using QGIS and Google Earth. With regard to the NDVI of the Educandos Basin, it was verified that in the areas closest to the banks of the main water course, the lowest NDVI values were recorded, thus, the absence of vegetation, however, in the northeast direction of the basin, there is a greener hue, indicating that in these areas there is the presence, as well as the preservation of large vegetation and water availability. Indicating that the area was heavily devastated, causing environmental impacts and possibly causing serious risks to the well-being and safety of residents of these locations.

Keywords: Educandos. NDVI. APPs.

RESUMEN

Con el rápido avance del proceso de urbanización, aumenta la degradación ambiental, lo que refleja la relación conflictiva entre la sociedad y la naturaleza. De esta forma, el estudio tuvo como objetivo analizar la cobertura vegetal en la cuenca de Educandos en la ciudad de Manaus - Amazonas en el año 2017. Para ello, los procedimientos metodológicos se basaron en levantamientos bibliográficos, delimitación de la cuenca en estudio y la elaboración del índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI), junto con el mapa de Áreas de Preservación Permanente, de acuerdo con la legislación vigente. Los datos fueron recolectados de los sitios web de USGS y TOPODATA/INPE y el procesamiento cartográfico se realizó utilizando QGIS y Google Earth. Con respecto al NDVI de la Cuenca Educandos, se verificó que en las zonas más cercanas a las riberas del curso principal de agua se registraron los valores más bajos de NDVI, siendo así la ausencia de vegetación, sin embargo, en dirección noreste de la cuenca, hay una tonalidad más verde, lo que indica que en estas áreas existe la presencia, así como la preservación de una gran vegetación y disponibilidad de agua. Indicando que el área fue fuertemente devastada.

Palabras clave: Educandos. NDVI. APPs.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de maneira tardia e acelerada, assim como em outros países de desenvolvimento complexo, devido ao intenso êxodo rural que sucedeu após a década de cinquenta. Em tais países, o traço mais marcante da urbanização desde o século XX, é a formação desordenada de grandes áreas urbanas (MENDONÇA, 2015). Além disso, o crescimento de aglomerados urbanos, atualmente, se caracteriza pelas intensas modificações nos processos e dinâmicas das paisagens naturais, que podem ocasionar em diferentes impactos ambientais, que atingem de maneira imediata as populações mais vulneráveis (SILVA NETO & ALEIXO, 2019).

Entende-se que à medida que ocorre o ritmo acelerado da urbanização, se acentuam a degradação ambiental e a má qualidade de vida para os cidadãos, que também podem ser vistas em cidades de pequeno e médio porte, embora sejam em menores proporções.

A degradação ambiental é resultado da relação conflituosa entre a sociedade e a natureza, fomentada pelo modelo de produção vigente que figura a natureza como “*objeto e fonte ilimitada de recursos à disposição do homem*” (BERNARDES e FERREIRA, 2003, p. 18). A partir dessa lógica, as cidades tornaram-se um palco de ambientes deteriorados, que podem trazer consequências desastrosas ao bem-estar, segurança e saúde da população urbana e, no caso da natureza, prejudicar a biodiversidade, que desempenha funções essenciais para a manutenção da vida.

Neste sentido, enfatiza-se uma das séries de consequências, as bacias hidrográficas urbanas ou em suas proximidades, que sofrem constantemente alterações na sua dinâmica e morfologia, uma vez que no processo de ocupação e uso da terra, ocorre a produção de moradias em ocupações irregulares às margens das bacias, este tipo de situação pode ser percebido em inúmeras cidades brasileiras.

Um exemplo é a cidade de Manaus, capital do Amazonas, que após o ano de 1967, vivenciou intensas transformações socioespaciais, mediante a implantação do projeto da Zona Franca, que ocasionou em um aumento significativo do número de habitantes, conseqüentemente, na expansão do sítio urbano. Desse modo, provocando a retirada abrupta da cobertura vegetal da paisagem natural para a substituição por um ambiente construído (BARBOSA, 2017).

Cabe ressaltar que a falta de critérios de uso e ocupação das margens dos rios – áreas ambientalmente sensíveis - acarreta sérios impactos ao meio ambiente, alterando substancialmente a dinâmica do curso d’água e provocando desequilíbrios diversos, como a intensificação de processos erosivos, inundação das margens, assoreamento do leito e morte de nascentes. (REZENDE & ARAÚJO, 2016).

Reiterando-se a cidade de Manaus, segundo Oliveira e Rebello (2009) as bacias hidrográficas em perímetro urbano são cadastradas como Áreas de Preservação Permanente (APPs), contudo, a maior parte delas apresentam elevados índices de concentração populacional, além de ser inconstitucional, causam efeitos prejudiciais ao meio ambiente que, infelizmente, tornaram-se características comuns na paisagem dos rios na cidade em estudo.

Neste contexto, as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são conceituadas legalmente por meio do Código Florestal Brasileiro, que consta na Lei N°12.651, instituída no ano de 2012, em que define a Área de Preservação Permanente (APP) como “área

protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

Segundo Ponzoni (2001) os índices de vegetação são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade. A utilização de índices de vegetação permite a avaliação e o monitoramento temporo-espacial das modificações ocorridas na superfície terrestre, uma das ferramentas mais recomendadas e utilizadas das geotecnologias para a detecção destas modificações, é o sensoriamento remoto.

De acordo com Florenzano (2007) é por meio do sensoriamento remoto que se obtêm imagens de satélite da superfície terrestre, com a captação e o registro da energia refletida ou emitida pela superfície. Com relação as geotecnologias, podem ser entendidas como novas tecnologias ligadas à ciência e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas (FITZ, 2018)

No que concerne à análise da cobertura vegetal, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que, inicialmente, foi elaborado por Rouse et al. (1973). Este índice permite identificar as transformações ocorridas em diferentes períodos, bem como sua evolução, caracterização e a distribuição espacial da cobertura vegetal.

Através dos dados de satélites da série Landsat e a utilização de SIG, obtemos informações precisas e econômicas que possibilitam a criação de materiais e facilitam o desenvolvimento de estudos ambientais que podem servir como instrumento nas decisões em gestão ambiental do Poder Público, proporcionando uma análise mais coerente e coesa, da ação antrópica sobre a natureza no intuito de propor alternativas que visam minimizar os impactos ambientais. (YUAN *et. al.*, 2005 *apud* BERLANDA *et. al.*, 2018, p. 44).

O estudo teve como objetivo realizar uma análise da densidade da cobertura florestal na bacia hidrográfica dos Educandos da cidade de Manaus – Amazonas no ano de 2017, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

Justifica-se neste trabalho a escolha da bacia dos Educandos como recorte espacial de análise que baseou-se no estudo desenvolvido por Silva Neto e Aleixo (2019) sobre a incompatibilidade das Áreas de Preservação Permanentes Fluviais e o Uso da Terra na cidade de Manaus nos anos de 1987 e 2017, na qual identificaram que a bacia hidrográfica dos Educandos é uma das APPS fluviais da cidade onde se encontra de modo mais intenso a

incompatibilidade, vinculadas diretamente às áreas densamente ocupadas ou ocupações irregulares.

O CONTEXTO GEOGRÁFICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DOS EDUCANDOS

A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, está situada na mesorregião da Amazônia central - Região Norte do Brasil, na qual ganhou destaque por ser a cidade mais populosa da região (Figura 01). Manaus possui uma extensão territorial de 8.510.417,771 km² e a área urbana que se estende por 377 km², com um total estimado de 2.054.731 milhões de habitantes segundo o censo demográfico de 2022 e densidade demográfica de 22,43 hab/km², de acordo com censo de 2010.(IBGE, 2023).

A região de Manaus está localizada no Planalto Rebaixado dos Rio Negro/Uatumã, segundo a classificação mais recente pelo Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística - IBGE (2006). Quanto à estrutura geológica da região, caracteriza-se basicamente pela Formação Alter do Chão, datada na Idade Cretácea.

Localmente, a altimetria do relevo na cidade de Manaus não ultrapassa os 120 metros, sendo classificado como interflúvios tabulares ou platôs, onde é cortado densamente por uma rede de canais de drenagem que, regionalmente, recebe o nome de igarapé, do ponto de vista pedológico, são duas classes de solo que se evidenciam na cidade: os Latossolos e os Espodosolos. Os Latossolos são os de maior representatividade na região, com uma constituição bastante argilosa, e a sua coloração que varia de amarela a vermelho-amarela (VIEIRA, 2008, p. 30).

No que se relaciona a cobertura vegetal, Manaus está inserida na Floresta Ombrófila Densa, isto é, a Floresta Amazônica, a Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do planeta, sendo composta por vários tipos de floresta, como os igapós, as várzeas e as florestas de terra firme. Sendo sua conservação essencial para a manutenção da vida humana no planeta sendo suas principais funções: manutenção do ciclo da água, conservação da biodiversidade, manutenção da estabilidade do clima e o estoque de carbono, porém ao decorrer dos anos a presença de vegetação primária tem diminuído bastante de tamanho dentro da área urbana, em razão da expansão do sítio urbano (BOHRER e GONÇALVES, 1991 *apud* VIEIRA, 2008, p. 35).

Manaus se consolida após 1950 com a elevação da cidade a categoria de província surgindo assim sua urbana, neste período começa a atrair viajantes com a intenção de

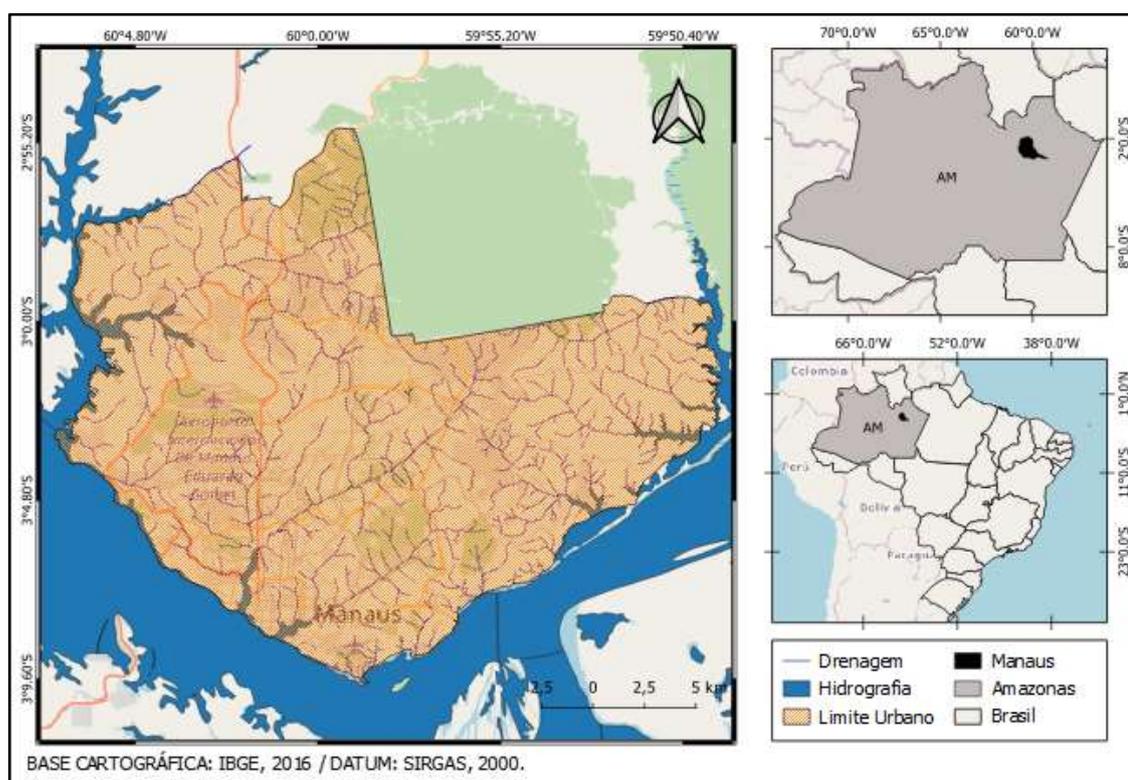
investigar os aspectos econômicos, políticos, culturais e morfológicos da mesma, advindos esses de diversas partes do país bem como das áreas rurais com o advento do êxodo rural. Apesar do Amazonas ter sido elevado à categoria de província desde setembro de 1850, a instalação de fato só ocorreu em 1º. de janeiro de 1852, com a chegada na Barra do primeiro presidente João Batista Tenreiro Aranha (MESQUITA, 2006, p. 30).

Posteriormente a cidade é marcada pelo período da borracha entre o século XIX e a primeira metade do século XX, e a partir da segunda metade do século XX, com o advento da industrialização, a cidade se transforma mais ainda com a criação da Zona Franca de Manaus em 1960/70 se tornando o principal motor econômico da cidade, conseqüentemente o crescimento espacial e populacional se sobressai a política de controle ambiental. Assim, a cidade acumulou um passivo ambiental de iguais proporções, o que provocou a redução da qualidade de vida da maior parte da população, com reflexos diretos nas condições de saúde, higiene e moradia, principalmente nas áreas ambientalmente frágeis localizadas nas beiras de rio e igarapés que passaram a ser intensamente ocupada. (OLIVEIRA, 2009).

Além de ser uma cidade com inúmeras belezas naturais, como o encontro das águas do Rio Negro e Solimões, as cachoeiras de Presidente Figueiredo, a Praia da Ponta Negra, o Arquipélago de Anavilhanas dentre outros. Possui também uma arquitetura ímpar com um lindo Centro histórico, um Teatro (Teatro Amazonas) internacionalmente conhecido, parques, bosques, mercados, centro culturais dentre outros, e não menos importante uma gastronomia maravilhosa de peixes, como o Jaraqui, Tambaqui, e suas frutas como o açaí, tucumã, cupuaçu e várias outras delícias.

Cidade essa que a medida que avança economicamente a preservação do meio natural passa a ser negligenciada, começando com o corte da vegetação que dá lugar a construções apagando a beleza natural da paisagem, os igarapés que outrora existia quase todos são aterrados, com isso foi possível notar alterações perceptíveis no clima pelos moradores. Segundo Dardel (2011) o espaço construído coloca em xeque o alcance do olhar, apaga e submerge o desenho natural dos lugares, ainda segundo ele, o homem modifica e recria espaços. A estrutura espacial de Manaus (forte, povoado, vila, cidade) foi determinada por políticas que produziram espaços e tempos diferentes dos até então vividos pelas populações preexistentes, os quais passaram a ser vistos com novos valores e novas funções. (OLIVEIRA, 1998, p. 235).

Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo, a cidade de Manaus - Amazonas.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Como mencionado, a cidade é recortada por uma densa malha de igarapés que formam o sistema fundamental das bacias de drenagem. Segundo Normando (2014) o Rio Negro é o principal contribuinte na drenagem de quatro grandes bacias hidrográficas que se encontram dentro do sítio urbano de Manaus, sendo estas: as Bacias Hidrográficas do Tarumã e do Puraquequara, que estão parcialmente inseridas na malha urbana manauara, e as Bacias do São Raimundo e dos Educandos que se encontram integralmente no perímetro urbano.

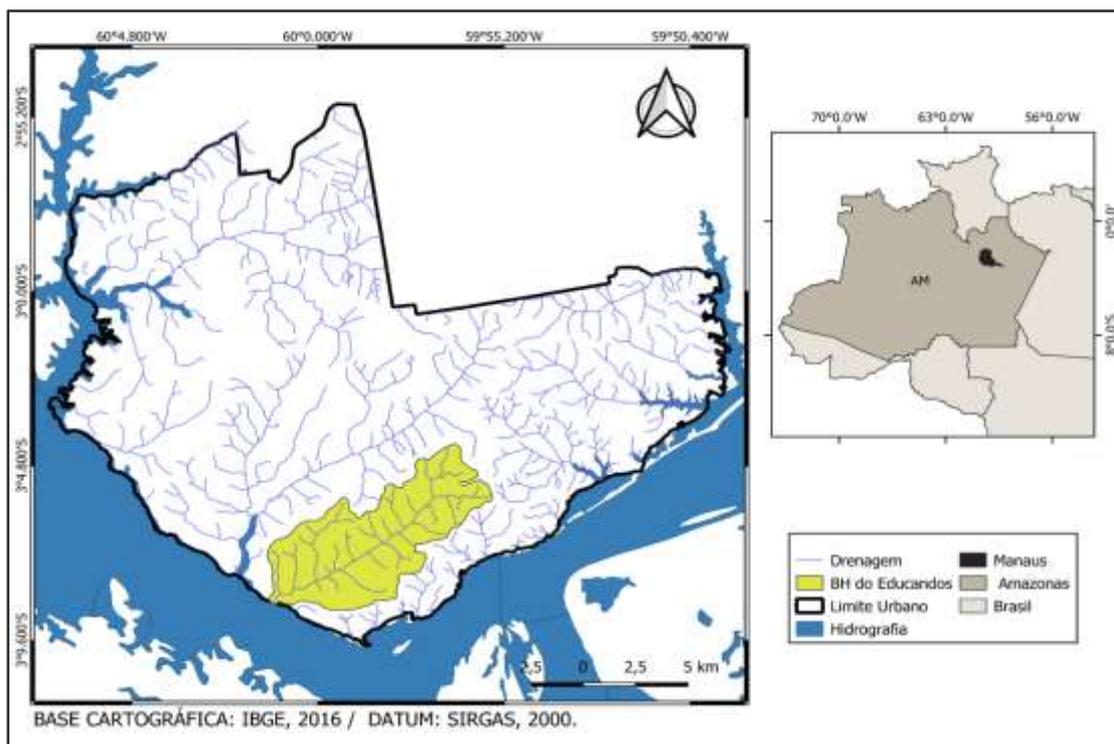
Além disso, a cidade também compreende bacias menores, como as bacias do Mauá, Mauzinho, Colônia Antônio Aleixo, Refinaria e Ponta Pelada. Todas as bacias supracitadas foram denominadas conforme a identificação realizada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS (MACENA; COSTA, 2012).

A bacia hidrográfica do Igarapé dos Educandos, possui uma área total de 46,14 km² e o perímetro de 48,11 km (Figura 2). Esta bacia está localizada na zona sul da cidade de Manaus/AM, correspondendo a 10,22% do total do perímetro urbano, a sua área de drenagem envolve 22 bairros, dos quais 14 estão totalmente inseridos ao seu entorno (NOGUEIRA; KUCK; PARISE, 2015).

Ao todo, a bacia dos Educandos é formada por 33 igarapés e o leito principal dispõe de 12,84 km, os seus igarapés são denominados de Educandos, Quarenta e Armando Mendes

e os afluentes que têm aproximadamente 35,70 km, são compostos pelos igarapés de Manaus, Bittencourt, Mestre Chico, Cajual, Liberdade, Cachoeirinha, Betânia, Raiz, Vovó, Freira, Japiim, Buriti, Semp, 31 de Março, Javari, Campus II, Ibiurana, Campus I, Ipê, Cupiúba, Nova República, Porco, Chaminé, Sharp, Acariquara, Zumbi 1 e Zumbi 2 (SILVA & LIMA, 2017 *apud* FERNANDES, 2016, p. 25).

Figura 02 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica dos Educandos/Manaus - Amazonas



Fonte: Elaborado pelas autoras.

METODOLOGIA

DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS EDUCANDOS

Para a delimitação utilizou-se o divisor de águas, um dos principais elementos que compõem a bacia hidrográfica. De modo geral, o divisor de águas são estruturas do relevo, constituído de linhas divisórias que possuem a função de delimitar/dividir áreas que se localizam nas estruturas mais elevadas do relevo.

As bases cartográficas foram adquiridas no site do IBGE, nesse caso, ainda se fez necessário o uso de dados de imagens SRTM, que possibilitam um Modelo Digital de Elevação (MDS) e a confecção cartográfica foi realizada em ambiente de Sistemas de

Informações Geográficas com o software QGIS, versão 3.10 para a definição da bacia hidrográfica.

Segundo Valeriano (2008 apud NICOLETE, 2015, p. 3989) o MDE é um arquivo tipo raster, formado por pixels, na qual cada pixel abrange um par de coordenadas (x,y) e um valor de elevação (z), dessa forma, possibilita a representação contínua das superfícies.

As imagens SRTM, nas cenas identificadas como 03S615_ e 03S60_ em formato Geotiff, foram coletadas no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA, que pode ser adquirido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, via website: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Após a aquisição das duas cenas das imagens SRTM, as mesmas foram processadas no software QGIS para obtenção de um único arquivo, através da ferramenta de mesclagem no raster das duas imagens, posteriormente, precisou-se fazer um recorte da área que compreende a bacia usada, por meio de um shapefile em formato de polígono, por esse motivo houve uma redução significativa do tamanho da imagem, fazendo com que os procedimentos a seguir sejam mais rápidos. .

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

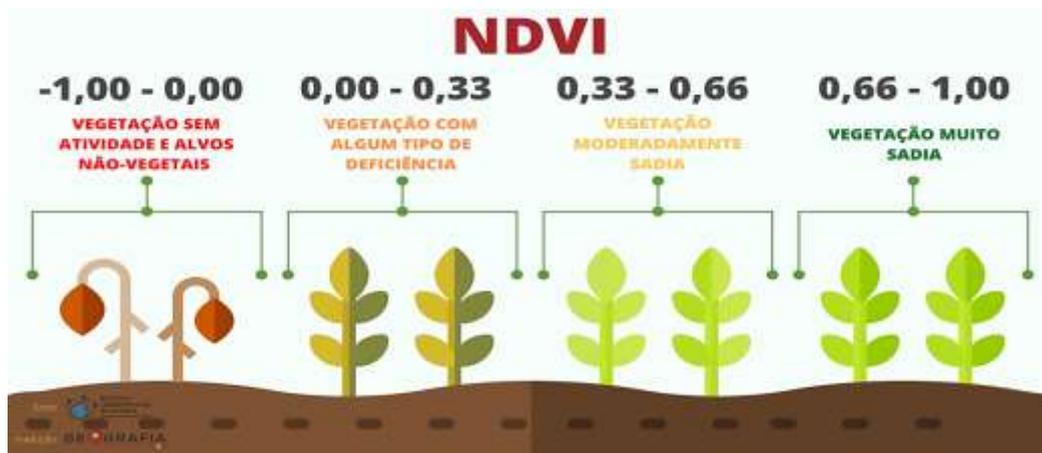
Para a referida análise, elaborou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI no ano de 2017, com o objetivo de diferenciar a vegetação de outros tipos de cobertura da terra e verificar as alterações ocorridas na densidade de cobertura vegetal da área em estudo. Cabe ressaltar, que não foi possível realizar o NDVI em dois anos diferentes, pois a imagem mais antiga não apresentou uma boa resolução, impossibilitando uma análise comparativa entre as imagens.

Desse modo, foi utilizada a imagem de satélite do Landsat 8/OLI (Operational Land Imager) na data de 30/07/2017, órbita 231 e ponto 062, com os canais 5, 4 e 3 e a resolução espacial de 30 metros, disponível para download no catálogo do Serviço Geológico Americano – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Antes de iniciar o procedimento do Índice de Vegetação, foi necessário aplicar o processo de correção atmosférica, uma vez que este processo visa diminuir a influência dos fatores que compõem a atmosfera terrestre, assim, proporcionando uma melhor qualidade de imagens orbitais, por isso é essencial no processamento dessas imagens (WESS *et. al.*, 2015). Os dados do Landsat 8 foram redimensionados para a reflectância no caso do NDVI.

O NDVI, em termos gerais, consiste na avaliação da condição saudável ou não da vegetação, por meio de um cálculo específico, usando as bandas do infravermelho próximo e o vermelho, normalizando os números em um intervalo de classificação entre -1 a +1, como mostra a (Figura-03).

Figura 03 - Valores do NDVI



Fonte: EOS (2019).

A saúde da vegetação é inferida pela diferença entre a reflectância das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, em seguida, dividida pela soma das duas reflectâncias, na qual se expressa matematicamente pela equação abaixo.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Onde: NDVI = Normalized Difference Vegetation Index; NIR representa a banda do infravermelho próximo e R a banda do vermelho. No caso do Landsat 8, as bandas são 4 (R) e 5 (NIR). A aplicação da equação foi efetivada pela calculadora Raster do Software QGis, versão 3.10.

DELIMITAÇÃO DE APP (ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE)

Para o respectivo procedimento de delimitação das Áreas de Preservação Permanente, apoiou-se fundamentalmente na legislação vigente.

Primeiramente, utilizou-se o programa Google Earth para a definição do canal e identificação das nascentes da bacia hidrográfica dos Educandos, que foram salvos em kml para a leitura no QGIS (Quantum Gis) e, em seguida, a inserção de duas camadas vetoriais:

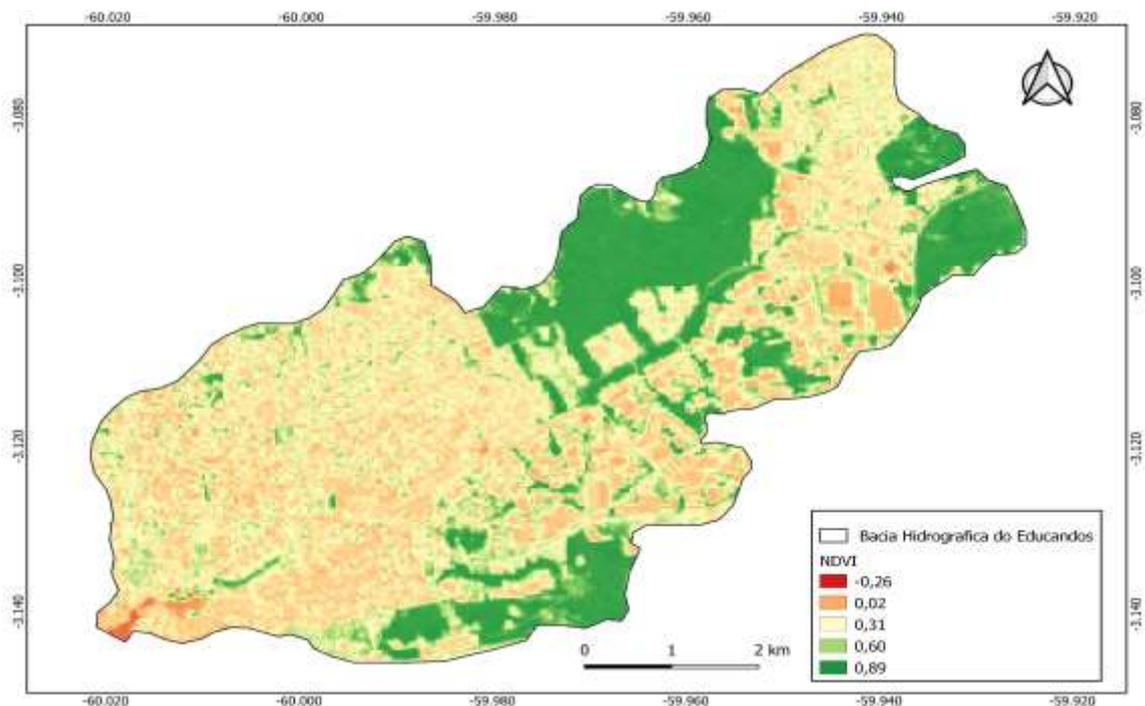
linhas e pontos, ambos em formato de shapefile, com o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) em WGS 84/UTM zone 20S.

Por fim, a partir de base vetorial da drenagem, gerou-se polígonos com o auxílio da ferramenta Buffer com largura variável segundo as particularidades dos canais de drenagem da rede hidrográfica, na qual se estabeleceu a distância de 30m e 50m, em virtude do artigo 4º do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), que regulariza as APPs, até 30m no entorno de cursos d'água de até 10m de largura e um raio de 50m no entorno de nascentes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Buscou-se apresentar o mapeamento e a análise da densidade de cobertura vegetal na bacia hidrográfica dos Educandos (BHE) no ano de 2017, localizada, integralmente, na área urbana de Manaus, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, por meio do suporte das geotecnologias (Figura 04).

Figura 04 - NDVI da Bacia Hidrográfica dos Educandos - Manaus/Amazonas



Fonte: Elaborado pelas autoras.

É perceptível verificar a escala de cores variando de vermelho a verde (Figura 4), assim, os valores mais próximos de zero indicam que a vegetação está com baixo vigor e,

quando se aproximam do número um, sinalizam que a vegetação está saudável, do lado positivo.

Nas áreas mais próximas às margens do curso d'água principal foram registrados os menores valores do NDVI, correspondendo aos tons mais vermelhos, na qual significa a ausência de cobertura vegetal, o que pode estar relacionado com a intensificação e expansão do processo de urbanização no ano em análise, principalmente no sentido sudoeste da bacia, onde fica evidente a maior interferência antrópica na área florestada próximo ao canal hidrográfico da bacia em estudo, em bairros como o Educandos, Japiim, Petrópolis, Betânia, Centro, Morro da Liberdade, entre outros. Tais fatos são resultados da ocupação de moradias irregulares nas margens e a construção de avenidas que praticamente devastaram as Áreas de Preservação Permanente.

Na localidade, dos bairros Japiim, Crespo, Raiz e Distrito Industrial que se encontram no curso principal da BHE, o Igarapé do Quarenta, verifica-se constantes intervenções humanas, que ocasionaram na diminuição brusca de áreas que dispõem de vegetação nativa e/ou primária, sendo a maior parte delas, matas secundárias, que foram modificadas com a inserção de espécies exóticas, e suas margens desflorestadas.

No Índice de Vegetação, percebe-se que no sentido nordeste da bacia há a ocorrência de tons que correspondem aos valores mais altos do NDVI, representado pela tonalidade mais verde, indicando a presença e a preservação da vegetação de porte e disponibilidade hídrica. Estas áreas podem ser denominadas como “ilhas verdes”, já que estão rodeadas pelo adensamento urbano e estão em menores proporções. De maneira geral, verifica-se que a predominância do NDVI é de tons mais avermelhados.

As áreas de preservação permanente (APP) foram definidas pelo código florestal de 1965. Posteriormente, de acordo com a Lei n.º 6.938 em 1981, estas áreas foram consideradas como reservas ecológicas. E foi instituída novamente pela Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, as quais consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa.

As APPs foram criadas com o objetivo de proteger o ambiente natural, segundo Ribeiro (2011) elas abrangem espaços territoriais e bens de interesse nacional especialmente protegidos, cobertos ou não por vegetação, ou seja, desempenham um papel fundamental na preservação ambiental. A cobertura vegetal nestas áreas atenua os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, contribuindo também para a regularização do fluxo hídrico, redução do

assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, e proporcionando benefícios para o bem-estar do homem, fauna e flora.

As ocupações irregulares ao longo da APP na área da bacia dos Educandos apresentam susceptibilidade à erosão do solo devido à retirada parcial da vegetação natural, dando lugar a presenças de comércios e residências, tanto de madeira como de alvenaria, em ambas as margens (Figura 05). É possível observar que a altura de algumas construções está no mesmo nível da rua, acima do igarapé, porém, em outras áreas verifica-se que estão abaixo, assim, susceptíveis a enchentes e inundações, que além de gerar impactos ambientais também podem acarretar sérios riscos ao bem-estar e segurança dos moradores. Outro processo de degradação ambiental nos igarapés é o recebimento de efluentes residenciais, comerciais e industriais sem qualquer tratamento prévio, bem como toda espécie de lixo, o que torna suas águas impróprias para o consumo humano e ainda prejudica o equilíbrio do ecossistema.

Figura 05 - Características sócio ambientais às margens do igarapé do Quarenta



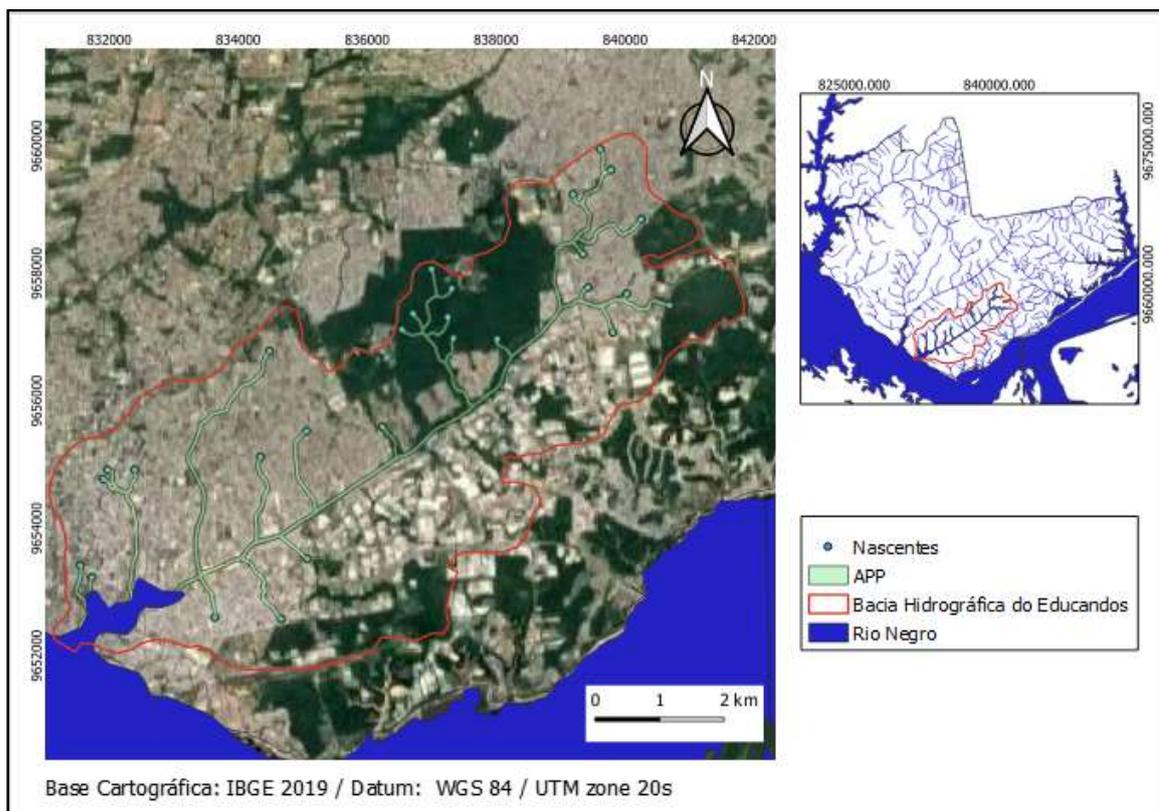
a) Ponte de ferro, que dá acesso às residências; **b)** Boxes comerciais; **c)** Residências de madeira **d)** Residências de alvenaria. **Fonte:** Elaborado pelas autoras (Janeiro/2022).

Outra área que sofre com degradação são as áreas de nascente. Nessas áreas a vegetação atua como um amortecedor, a fim de que a água da chuva não entre em contato direto com o solo. Assim, permitindo que o solo permaneça compactado, juntamente com

toda matéria orgânica das plantas preservadas, mantendo a capacidade de absorção do solo, pelo seu alto nível de porosidade, e controlando o escoamento superficial da água, logo, evitando que determinados tipos de resíduos poluem e assoreiam os leitos de água. Segundo Almeida (2012) a vegetação atual como um importante indicador geoambiental, pois sofre influência dos fatores climáticos, edafológicos e bióticos. Exercendo papel importante na estabilização dos geoambientes, visto que protegem o solo dos processos erosivos, facilita a distribuição, infiltração e acúmulo das águas pluviais e influência nas condições climáticas do ambiente.

O desmatamento está relacionado a diversos fatores, dos quais a urbanização é um dos principais, e muitas das vezes para a construção de moradias e ruas desvela a ausência de um planejamento urbano adequado, gerando a ocupação desordenada nas cidades, como é o caso da APP situada na Bacia dos Educandos (Figura 06).

Figura 06 - Mapa da Área de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica dos Educandos/Manaus - Amazonas



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Nota-se que a vegetação no entorno do curso d'água da bacia foi quase que em sua totalidade devastada, dando lugar a construção urbana e não levando em consideração a

preservação ambiental instituída por Lei. Os efeitos observados oriundos de degradação ambiental podem ser caracterizados como Impactos Ambientais, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 186, art 1:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetem: a) A saúde, segurança e o bem-estar da população; b) As atividades sociais e econômicas; c) As condições estéticas do meio ambiente; d) A qualidade dos recursos ambientais.

Quando à ocupação do solo urbano não tem planejamento, os impactos ao meio natural e alteração na morfologia do relevo original da paisagem são mais proeminentes. Segundo Almeida (1993) apud Fujimoto (2000), nas cidades capitalistas, o consumo do espaço urbano para habitação ocorre de forma diferenciada, variando conforme as condições dos segmentos sociais que os ocupam. Portanto observa-se que o impacto ambiental, também, é uma questão cultural, econômica e acima de tudo política.

Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, os efeitos desta Lei: II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de: a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas.

Por sua vez, a Lei n°. 671 de 04 de novembro de 2002, estabelece diretrizes e normas direcionadas a empreendimentos e atividades a serem realizadas no município para que se tenha uma ocupação adequada do mesmo. Uma dessas diretrizes está prevista no Art.23 parágrafo 1° do mesmo que regulamenta o uso do solo e sua ocupação para garantir qualidade de vida a população, e a valorização das paisagens naturais considerando:

I - controlar a expansão urbana horizontal da cidade, visando à preservação dos ambientes naturais do Município e à otimização dos serviços e equipamentos urbanos de Manaus;
I - incentivar o adensamento em áreas de baixa densidade populacional e infraestrutura completa implantada;
III - ordenar a localização de usos e atividades na Cidade, considerando as características ambientais locais;
IV - incentivar a adoção de padrões urbanísticos e arquitetônicos condizentes com as características climáticas e culturais de Manaus, visando à melhoria das condições ambientais e eficiência energética das edificações;
V - estimular o uso habitacional no Bairro Centro (MANAUS, 2014).

Visando à construção de uma melhoria da relação sociedade/espaço a estratégia do mapeamento de informações transforma-se em um recurso muito utilizado para tornar mais evidentes os padrões de uso e ocupação do espaço além de facilitar a visualização dos fatos no

espaço e melhorar a compreensão das situações existente como explica Sebusiani e Bettine (2011, p.258).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na Bacia Hidrográfica dos Educandos, verificou-se que nas áreas próximas ao curso principal está ausente a cobertura vegetal, principalmente no sentido sudoeste dos cursos da bacia, em razão da intensificação de ocupações de moradias e construção de avenidas, que geraram sérios impactos à bacia, como por exemplo, a poluição hídrica por dejetos domésticos e industriais que, provocaram áreas vulneráveis a inundações e enchentes.

Os valores mais altos do NDVI, representados pelas cores mais verdes, foram identificados nas extremidades dos polígonos, de modo mais representativo no alto curso, em locais que são "ilhas verdes", que mantêm a preservação da vegetação e corpos hídricos.

Existe uma quantidade elevada de estudos que abordam a problemática ambiental urbana, porém, ainda é necessário ser mais disseminada na ciência geográfica, com a utilização do sensoriamento remoto e as ferramentas das geotecnologias.

Para uma análise mais robusta da dinâmica têmporo-espacial das transformações ocorridas em uma bacia hidrográfica urbana, torna-se necessário incorporar outras análises, que também visam a avaliação e monitoramento dos mesmos com mais elementos, como por exemplo, o mapeamento de cobertura vegetal e uso da terra.

Quanto à área de preservação permanente (APP), pode-se constatar que a mesma foi impactada diretamente pelo fenômeno da urbanização, e para uma interpretação ecológica mais aprofundada de APP deve-se incluir, além dos aspectos ambientais, os aspectos econômicos, sociais e culturais, que se fazem igualmente relevantes para a melhoria da saúde ambiental e humana.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. V, et al. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do rio Taperoá - Nordeste do Brasil/Paraíba. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.3, N.4, p. 365-378, 2012.

BARBOSA, T. R. **Ocupações Irregulares e a (re) produção do espaço urbano da zona Leste de Manaus (AM): da ilegalidade do processo à legalidade da questão da moradia.**

2017. 217f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.637>.

BERLANDA, A. et. al. Dinâmica da alteração da Cobertura Vegetal e Uso da Terra com suporte de geotecnologia na Bacia Hidrográfica do Rio Desquite – SC. **Revista Ra'ega**. Curitiba, v.43 Temático de Geotecnologias , p. 43 -56 , Fev/2018.

BERNARDES, J. A; FERREIRA, F. P. M. **Sociedade e Natureza**. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. A Questão ambiental - Diferentes Abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 248.

BRASIL. Lei nº 671, de 04 de novembro de 2002 regulamenta o **Plano Diretor Urbano e Ambiental**, estabelece diretrizes para o desenvolvimento.

BRASIL. **Lei Federal No 6.938, de 31 de agosto de 1981** (Política Nacional do Meio Ambiente).

BRASIL, **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de maio de 2012.

DARDEL. Eric, O homem e a Terra. Natureza da realidade Geográfica. Tradução Werther Wolzer. São Paulo, PERSPECTIVA, 2011.

FERNANDES, V. R. **Impactos Socioambientais Causados Pelas Cheias Excepcionais do Rio Negro em Manaus - AM ocorridas entre 1950 A 2015**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2016.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 101.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. (2022) IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 19 de Maio de 2023.

IBGE. **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Unidade de Relevô. IBGE, 2006.

MACENA, L. S.S; COSTA, R.C. A cidade como espaço do risco: Estudo em bacias hidrográficas de Manaus, Amazonas- BR. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.1, N.4, p.318 – 330, 2012.

MENDONÇA, F. **Clima e planejamento urbano em Londrina**. In: MONTEIRO, C. A. F. MENDONÇA, F (Orgs). DANNI-OLIVEIRA, I. M; MACEDO, A. M. P; GONÇALVES, N. M. S (colabs). **Clima Urbano**. 2. ed. 2ª reimpressão. São Paulo. Contexto. 2015. p. 192.

MESQUITA, Z. Cotidiano ou quotidiano? In: **Territórios do cotidiano**. MESQUITA, Z; BRANDÃO, C.R. (orgs.). Porto Alegre: Ed. UFRGS; Santa Cruz do Sul: Edunisc, 1995.

NICOLETE, D. A. P. **Delimitação automática de uma bacia hidrográfica utilizando MDE TOPODATA: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu - SP.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

NOGUEIRA, E. de M; KUCK, T. N; PARISE, M. Caracterização hidromorfológica da Bacia do Igarapé do Educandos e a correlação com registros de ocorrências da Defesa Civil. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

NORMANDO, M. N. **Qualidade de água do Igarapé do Mestre Chico – Prosamim em Manaus/AM.** Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos e Saneamento Urbano). Universidade Federal do Pará, Pará. 2014.

OLIVEIRA, E. G.; REBELLO, A. Planejamento ambiental em bacias hidrográficas: um estudo preliminar de indicadores socioambientais na Microbacia do Quarenta (Manaus-AM). **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Universidade Federal de Viçosa, 6 a 10 jul, 2009.

OLIVEIRA, J. A.; SCHOR, T. Manaus: transformações e permanências, do forte a metrópole regional. In: CASTRO, E. (Org.). **Cidades na Floresta**. São Paulo, Annablume, 2009. P. 41-98.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação.** In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

REZENDE, B. de M.G; ARAÚJO, S.M.S. As cidades e as águas: ocupações urbanas nas margens de rios. **Revista de Geografia (Recife)**. V, 33, No. 2, 2016.

RIBEIRO, G. V. B. A origem histórica do conceito de Área de Preservação Permanente no Brasil. **Revista Thema**, V. 08, N. 01, 2011.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM**, 3. 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

SEBUSIANI, H. R.; BETTINE, S. DO C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em microbacia urbana. São Paulo: **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 2011. p.258 .

SILVA, R. F. et al. Análise dos impactos ambientais da Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG. **Caderno de Geografia**, v.26, n.47, 2016.

SILVA NETO, J. C. A. DA; ALEIXO, N. C. R. (2019) “Análise temporal da incompatibilidade das Áreas de Preservação Permanentes fluviais e uso da terra na cidade

Manaus- Amazonas- Brasil”, **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 7(45). doi:
10.17271/2318847274520192055.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. **TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível:<http://mtc19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19%4080/2010/05.10.18.35/doc/publicacao.pdf> >. Acesso em 20 de Maio de 2023.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento E Distribuição De Voçorocas Em Manaus (Am): Principais Fatores Controladores E Impactos Urbano-Ambientais**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2008.

WESS, C. V. da C.; et. al. Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica em imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), Plataforma Landsat 8. **Scientia Plena**. vol. 11, num. 22, p. 2 - 8, 2015.

YUAN, F.; SAWAYA, K. E.; LOEFFELHOLZ, B. C.; BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 98, 317-328, 2005.

Artigo recebido em: 27 de março de 2023.

Artigo aceito em: 20 de junho de 2023.

Artigo publicado em: 05 de julho de 2023.