



GOVERNO DO ESTADO DO  
**AMAZONAS**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
ESCOLA NORMAL SUPERIOR  
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

**MONITORAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA  
RELAÇÃO COM A TEMPERATURA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO TARUMÃ-AÇU / MANAUS (AM)**

**FILIPE DE ARAUJO OLIVEIRA**

**MANAUS, AM  
2022**

**FILIFE DE ARAUJO OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA  
RELAÇÃO COM A TEMPERATURA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO TARUMÃ-AÇU / MANAUS (AM)**

Monografia apresentada ao curso de Geografia da  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA, como  
requisito parcial à obtenção ao título de licenciado em  
Geografia.

**Orientador: Flavio Wachholz**

**Coorientador: Valdir Soares de Andrade Filho**

**MANAUS, AM  
2022**

### **Ficha Catalográfica**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
**Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.**

F483m Oliveira, Filipe de Araujo  
Monitoramento do uso e cobertura da terra e sua relação com a temperatura na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu / Manaus (AM) / Filipe de Araujo Oliveira. Manaus : [s.n], 2022.  
81 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Geografia - Licenciatura - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.  
Inclui bibliografia  
Orientador: Wachholz, Flavio  
Coorientador: Andrade Filho, Valdir Soares de

□1. Bacia Hidrográfica. 2. Uso e Cobertura da Terra.  
3. Temperatura de Superfície Terrestre. I. Wachholz, Flavio (Orient.). II. Andrade Filho, Valdir Soares de (Coorient.). III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. Monitoramento do uso e cobertura da terra e sua relação com a temperatura na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu / Manaus (AM)

**Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463**

**FILIFE DE ARAUJO OLIVEIRA**

**Monitoramento do uso e cobertura da terra e sua relação com a temperatura na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu / Manaus (AM)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade do Estado do Amazonas para a obtenção do título de licenciado em Geografia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Presidente: Prof. Dr. Flavio Wachholz

---

1º avaliador: Prof. Dr. João Cândido André da Silva Neto (UFAM)

---

2º avaliador: Prof. Dr. Julien Marius Reis Thevenin (UEA)

Manaus, 19 de maio de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha mãe Maria Bezerra de Araujo e irmãs e irmão Katia de Araujo Oliveira, Cleone de Araujo Oliveira, Priscila de Araujo Oliveira, Perla de Araujo Oliveira, Diana de Araujo Oliveira, Eutequia de Araujo Oliveira, Cleide de Araujo Oliveira e Kennedy de Araujo Oliveira pela orientação durante a vida e por ter me proporcionada a educação porque sem elas não estaria dando mais um passo nos meus estudos, disto isso sou e serei eternamente grato por tudo que vocês me proporcionaram, meu muito obrigado!

A todos os meus amigos e colegas de sala, em especial Romário Almeida Henrique, Gabriel Vinicius de Barros Lima, Lucas Almeida, Ana Carolina Gomes Correa, Rewbisten Porfirio, Alex Latorre, Ramon Soares e Franciellen de Souza por fazerem os meus dias mais felizes. O carinho e a presença de vocês foram fundamentais para buscar ânimo e forças na caminhada até aqui.

A todos os professores do colegiado de geografia com que pude ter excelentes aulas em especial aos professores Flávio Wachholz pelas orientações desde o projeto de iniciação científica até esse momento do Trabalho de Conclusão de Curso e ao Professor Valdir Soares de Andrade Filho pelas orientações que também vieram desde as iniciações científicas até a presente monografia.

Ao professor de geografia no ensino médio, professor Heliandro também formado pela UEA e que teve influência na minha escolha do curso de Geografia, suas aulas foram um convite para a escolha dessa ciência maravilhosa.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

**“Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir”**

Friedrich Nietzsche – Assim Falou Zaratustra

## RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, sofre transformações antrópicas no seu ambiente como desmatamentos, queimadas, expansão urbana, e outras alterações no uso e cobertura da terra. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica no uso e cobertura da terra e temperatura de superfície na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu por meio das imagens do satélite Landsat-8 sensor OLI/TIRS para os anos de 2015 e 2021. Os procedimentos metodológicos se deram desde a leitura de referências na literatura do tema de estudo até a utilização do QGIS 3.10.7 para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra, cálculo de índices de vegetação NDVI e SAVI, estimativa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e por fim, a análise estatística dos dados por meio também do QGIS e *Excel* para a reflexão e discussão dos resultados. Na Bacia Hidrográfica do Tarumã-açu a presença de vegetação arbórea dominante predomina em toda a bacia abrangendo uma área de 1030,5 km<sup>2</sup> em 2015 e 1022,68 km<sup>2</sup> em 2021 resultando em uma perda de vegetação arbórea dominante de 7,82 km<sup>2</sup> e calculando essa perda juntamente com a classe de vegetação herbácea arbustiva esse número sobe para 11,15 km<sup>2</sup>. Destaca-se também a classe de solo exposto teve um aumento de 10,92 km<sup>2</sup> em toda bacia e a área urbana um acréscimo de 1,64 km<sup>2</sup> no intervalo desses dois anos. De 2015 para 2021 as médias, mínimas e máximas de TST para a bacia como um todo não apresentam variações significativas ao longo desses anos, já o aumento das extensões das áreas nos intervalos 32 a 35°C chegam a 8,72 km<sup>2</sup>, e no intervalo  $\leq 26^{\circ}\text{C}$  a 243,79 km<sup>2</sup> e a queda de 256,58 km<sup>2</sup> no intervalo de 26 a 29°C chamam atenção. Outro ponto a se destacar é a alta variação da temperatura em virtude da mudança do tipo de uso e cobertura do solo como pode ser observado nos perfis de TST. Disto isso, o uso das diversas geotecnologias juntamente com o sensoriamento remoto são essenciais na análise da dinâmica da paisagem, no planejamento e desenvolvimento de metodologias de estratégias de gestão na conservação e preservação do meio ambiente, isso porque as cidades crescem demograficamente milhares de pessoas nascem, migram e necessitam de espaços para habitar, estudar, trabalhar, praticar o lazer e esse crescimento demanda dos espaços, das paisagens como a da BHTA gestão que se possa acomodar as pessoas com sustentabilidade ao meio ambiente.

**Palavras – Chave:** Bacia Hidrográfica. Uso e Cobertura da Terra. Temperatura de Superfície Terrestre.

## ABSTRACT

Tarumã-Açu's watershed suffers anthropic transformations in its environment, like deforestation, fires, urban expansions and other changes in the land's usage and coverage. Therefore, this research aims to analyze the dynamic in the land's usage and coverage, and surface temperature in Tarumã-Açu's watershed through images of the Landsat-8 sensor OLI/TIRS satellite for the years 2015 and 2021. The methodological procedures range from reading references in the literature to the use of QGIS 3.10.7 in the preparation of the land use and cover map, calculations of NDVI and SAVI indices of vegetation, land surface temperature (TST). Lastly, the data statistical analysis was also made on QGIS and *Excel* was used for the results' reflection and discussion. The presence of dominant arboreal vegetation on Tarumã-Açu's watershed prevail in the whole basin, covering a 1030,5 km<sup>2</sup> area in 2014 and 1022,68 km<sup>2</sup> in 2021, resulting in a loss of dominant arboreal vegetation of 7,82<sup>2</sup> km, and calculating this loss together with the shrubby arboreal vegetation class, this number goes up to 11,15 km<sup>2</sup>. The exposed soil class also stands out, having an increase of 10,92 km<sup>2</sup> in the whole basin and the urban area had an increase of 1,64 km<sup>2</sup> between both those years. From 2015 to 2021, the means, minimum and maximum, of TST for the basin, as a whole, doesn't show significative variation along those years, now, the increase the area's extensions on the gap of 32 to 35°C comes to 8,72 km<sup>2</sup>, and in the interval  $\leq 26^{\circ}\text{C}$  comes to 243,79 km<sup>2</sup> and the fall of 256,58 km<sup>2</sup> on the gap of 26 to 29°C draws attention. Another point to highlight is the temperature's high variation in virtue of the change of soil's type of usage and coverage, as can be seen in the TST's profiles. That being said, the usage of various geotechnologies, along with remote sensing are essential on the analyzes of the landscape's dynamic, in the planning and development of management strategies methodologies on the environment's conservation and preservation, because the cities grow demographically, millions of people are born, migrate and need spaces to inhabit, study, work, practice leisure, and this increase demand spaces and landscapes like Tarumã-Açu's watersheds and a management that can accommodate the people along with sustainability to the environment.

**Keywords:** Watershed. Land's Usage and Coverage. Terrestrial Surface's Temperature.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Gráfico de Taxas de desmatamento da Amazônia Legal.....	20
<b>Figura 2</b> - Espectro eletromagnético .....	24
<b>Figura 3</b> - Respostas Espectrais.....	28
<b>Figura 4</b> - Resolução Espacial .....	30
<b>Figura 5</b> - Resolução radiométrica .....	32
<b>Figura 6</b> - Faixas dos Espectro Eletromagnético.....	36
<b>Figura 7</b> - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açú.....	39
<b>Figura 8</b> - Localização do Traçado do perfil da margem direita para margem esquerda do baixo curso.....	48
<b>Figura 9</b> - Uso e Cobertura da Terra da BHTA - 2021.....	50
<b>Figura 10</b> - Uso e Cobertura da Terra da BHTA – 2015 .....	50
<b>Figura 11</b> - Gráfico do Uso e Cobertura do Solo da BHTA : (A) BHTA 2015; (B) BHTA 2021 .....	51
<b>Figura 12</b> - Gráficos das Classes de uso e cobertura do solo nos cursos da BHTA.....	52
<b>Figura 13</b> - Mapa dos Cursos da BHTA do Uso e Cobertura da Terra 2021 .....	55
<b>Figura 14</b> - Mapa dos Cursos da BHTA do Uso e Cobertura da Terra 2015 .....	55
<b>Figura 15</b> - A margem do Rio Tarumã – Açú: (A) Hotel de Turismo; (B) Residência.....	56
<b>Figura 16</b> - (A) Criação de Gado na BHTA. (B) Balneário na BHTA.....	56
<b>Figura 17</b> - Ao longo da Rodovia da BHTA: (A) Voçoroca; (B) Solo Exposto .....	57
<b>Figura 18</b> - Gráfico da Média, Mínima e Máxima Índice NDVI da BHTA em 2015 e 2021 ..	58
<b>Figura 19</b> - Mapa do Índice NDVI da BHTA em 2021.....	60
<b>Figura 20</b> - Mapa do Índice NDVI da BHTA em 2015.....	60
<b>Figura 21</b> - Gráfico de Percentual da Extensão da Área das Classes do Índice NDVI.....	61
<b>Figura 22</b> - Comparação das Médias entre NDVI e SAVI.....	62
<b>Figura 23</b> - Mapa do Índice SAVI da BHTA em 2021 .....	63
<b>Figura 24</b> – Mapa do Índice SAVI da BHTA em 2015.....	63
<b>Figura 25</b> - Comparação entre o perfil do NDVI e SAVI do ano de 2015.....	64
<b>Figura 26</b> - Comparação entre o Perfil do NDVI e SAVI do ano de 2015.....	65
<b>Figura 27</b> - Gráfico de Percentual de Extensão da Área das Classes do Índice SAVI.....	65
<b>Figura 28</b> - Gráfico da Média, Mínima e Máxima da TST na BHTA em 2015 e 2021 .....	66
<b>Figura 29</b> - Gráfico do Uso e cobertura do solo x média temperatura (TST) na BHTA em 2015 .....	67
<b>Figura 30</b> - Gráfico do Uso e cobertura do solo x média temperatura (TST) na BHTA em 2021 .....	67
<b>Figura 31</b> - Gráfico da Extensão da Área dos Intervalos de Temperatura: (A) 2015 e (B) 2021 .....	69
<b>Figura 32</b> – Mapa de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da BHTA - 2021.....	70
<b>Figura 33</b> – Mapa de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da BHTA – 2015 .....	70
<b>Figura 34</b> - Mapa do Traçado do Perfil A-B do campo térmico de superfície - 2021 .....	71
<b>Figura 35</b> - Gráfico do Traçado do Perfil A-B do campo térmico de superfície - 2021 .....	72
<b>Figura 36</b> - Gráfico do Traçado do Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA – 2015 ..	72
<b>Figura 37</b> - – Gráfico do Traçado do Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA – 2021. ....	73
<b>Figura 38</b> - Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA em 2015 e 2021 - Temperatura Galpão.....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Divisões dos comprimentos de ondas das cores da região do visível .....	26
<b>Tabela 2</b> - Sensor OLI do Landsat-8 .....	31
<b>Tabela 3</b> - Sensor PAN do CBERS-4 .....	31
<b>Tabela 4</b> - Característica Gerais do Landsat-8.....	33
<b>Tabela 5</b> - Informações dos Sensores Landsat-8 .....	34

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Classes e Simbologia (legenda) do uso e cobertura da Terra da BHTA.....	41
---	----

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1 Caracterização Física e Antrópica da Amazônia.....	16
2.1.1 Vegetação.....	16
2.1.2 Hidrografia .....	17
2.1.3 Desmatamento.....	18
2.1.4 Impactos Climáticos.....	20
2.2 Sensoriamento Remoto Multiespectral.....	22
2.2.1 Radiação Eletromagnética.....	23
2.2.2 Espectro Eletromagnético.....	24
2.2.3 Comportamento Espectral dos Alvos.....	26
2.2.4 Sistema Sensores .....	29
2.2.4.1 Resolução Espacial.....	30
2.2.4.2 Resolução Espectral .....	30
2.2.4.3 Resolução Radiométrica.....	31
2.2.4.4 Resolução Temporal.....	32
2.2.4.5 LANDSAT-8.....	33
2.3 Classificação Supervisionada .....	35
2.4 Temperatura de Superfície Terrestre .....	36
3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
3.1 Localização e caracterização geográfica da área de estudo.....	38
3.2 Materiais .....	40
3.3 Procedimentos dos Mapas de Uso e Cobertura da Terra.....	40
3.4 Procedimentos do Índice de Vegetação NDVI.....	42
3.5 Procedimentos do Índice de Vegetação SAVI .....	44
3.6 Procedimentos da Temperatura de Superfície Terrestre (TST).....	45
3.6.1 Correção Atmosférica por meio do DOS1 .....	45
3.6.2 Conversão dos números digitais em Temperatura de brilho no Satélite .....	46
3.6.3 Reclassificação do uso e cobertura da terra para valores de emissividade (e) .....	46
3.6.4 Estimativa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) .....	47
3.6.5 Estatística, sistematização e tabulação dos dados .....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	49
4.1 Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Tarumã Açú .....	49
4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	57
4.3 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).....	61

4.4 Temperatura de Superfície Terrestre (TST) .....	66
5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
REFERÊNCIAS .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

Entre os espaços geográficos onde a relação homem natureza acontecem estão as bacias hidrográficas. Segundo Porto e Porto (2008) as bacias hidrográficas são áreas onde há a captação natural da água de precipitação convergindo e escoando para um único ponto de saída. Nessas áreas são desenvolvidas atividades humanas que proporcionam desequilíbrios no meio ambiente, resultando de acordo com Lopes *et al.* (2010), na degradação da terra que afeta por exemplo as bacias hidrográficas que por consequências geram-se problemas a níveis ambientais, sociais e até econômico.

As grandes cidades como Manaus são cidades que expandem suas populações décadas após décadas, segundo o IBGE (2021) Manaus tendem a um crescimento estimado de mais de 25% de 2010 para 2021. Esse crescimento demanda espaço nas cidades seguindo uma lógica tanto econômica quanto ambiental. Segundo Sousa (2013) entre outros limitadores natural da expansão urbana temos o rio Negro, fazendo com que a cidade tenha a possibilidade da expansão horizontalmente para a área rural da cidade. A bacia do Tarumã – Açu por exemplo que tem grande parte de sua extensão territorial na zona rural da cidade, já possui no baixo curso da bacia área urbana isso porque o vetor de crescimento da cidade passa pela bacia.

As bacias hidrográficas são paisagens ambientais impactadas pelas ações antrópicas e que pode ser melhor gerida com a utilização de procedimentos do sensoriamento remoto juntamente com as técnicas do geoprocessamento. Isso porque de acordo com Silveira (2009) as bacias hidrográficas são amostras da dinâmica do que acontecem com o meio ambiente reduzindo sua qualidade ambiental ao entorno da rede de drenagem bem como dos recursos hídricos. As variáveis climáticas como temperatura, precipitação e umidade são preocupações nessa dinâmica ambiental, os estudos de clima na área urbana exemplificam bem quando temos ilhas de calor dentro do perímetro urbano comparado a área rural, resultados da aglomeração e ocupações de pessoas e atividades econômicas por exemplo. As alterações das variáveis climáticas ao longo do tempo apresentam indícios dos problemas ambientais que aquele ambiente anda sofrendo, seja por questões naturais ou antropogênicas. Segundo Salati e Ribeiro (1979) as substituições ou perda da vegetação para a região da Amazônia podem ter consequências como a diminuição da chuva, a diminuição do tempo da presença da água na bacia, o comportamento da radiação solar com os alvos na superfície e entre outros.

O desenvolvimento do método de coleta e análise de dados por meio do sensoriamento remoto inicia-se no século XIX, há mais de 150 anos, segundo Jensen (2009) o primeiro registro fotográfico foi realizado de uma plataforma aérea, obtida nos anos de 1958. Desde o primeiro feito do sensoriamento remoto até o presente momento, os procedimentos de coleta e análise de dados, até a transformação em informações desses dados, mantiveram grandes evoluções ao longo desse tempo. O monitoramento em um curto intervalo de tempo para grandes extensões de áreas que se pretende analisar é umas das grandes vantagens do uso do sensoriamento remoto via satélite, segundo Liu (2006) há inúmeras aplicações de monitoramento com sensoriamento remoto via satélite, entre eles o monitoramento dinâmico de uso de solo e evoluções de biodiversidade, recursos naturais, clima, degradação do solo, de pastagens, focos de queimadas e monitoramento de eventos catastróficos como enchentes, secas e doenças.

Todos esses procedimentos e técnicas que evoluíram ao longo desse último século e décadas estão à disposição para aquisição, armazenamento e manipulação dos dados a fim de uma tomada de decisão em áreas de aplicação e do conhecimento que podem por exemplo auxiliar nas gestões de impactos ambientais.

Assim, a bacia hidrográfica do Tarumã-Açu, tema desse estudo, sofre transformações antrópicas no seu ambiente como desmatamentos, queimadas, expansão urbana e outras alterações do uso da terra. Tendo em vista que a Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu é uma bacia que tem seus limites tanto na área urbana quanto na área rural foi abordada a seguinte problemática: como os usos e coberturas da terra estão espacializados ao longo da bacia quais os impactos na Temperatura de Superfície Terrestre (TST)?

Diante desta problemática, o objetivo dessa pesquisa é analisar a dinâmica no uso e cobertura da terra e temperatura de superfície na Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu por meio das imagens do satélite Landsat-8 sensor OLI/TIRS para os anos de 2015 e 2021. Essa análise foi realizada com intuito de identificar, mapear e comparar as diferentes classes do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica para os anos de estudo, verificar a temperatura de superfície terrestre (TST) e o índice de vegetação por meio de imagens de satélite e relacionar estatisticamente os dados de uso e cobertura da terra com a temperatura de superfície (TST).

A região Amazônica possui a maior bacia hidrográfica e a maior floresta tropical do mundo. Sua vegetação, bacias e micro bacias cumprem um importante papel para o ciclo hidrológico e, portanto, importante para vida da população em uma escala micro e macro. Os impactos antrópicos no meio ambiente dessas regiões são realidades. A bacia hidrológica do Tarumã-açu, por exemplo é um manancial hídrico que abastece Manaus (AM), desse modo a conservação dessas áreas são fundamentais para a diversidade ecológica. E a conservação

dessas áreas são possíveis a partir de pesquisa como essas que contribuem para identificação dos impactos antrópicos sofridos por essas regiões hidrográficas, utilizando-se geotecnologias, resultando em dados e informações que contribuam para órgãos, entidades e projetos que fazem a gestão e mitigação de impactos socioambientais dessas áreas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Caracterização Física e Antrópica da Amazônia**

Nessa pesquisa a revisão da literatura iniciou-se caracterizando os aspectos físicos e os impactos antrópicos na região da Amazônia delimitando e caracterizando o bioma amazônico de acordo com seus limites estaduais e continentais e pontuando a vegetação a hidrografia, o desmatamento e os impactos climáticos.

Os impactos antrópicos apresentados por meio do desmatamento com extração de madeira e queimadas que é geralmente são os primeiros atos das ações antrópicas, porque é a partir do desmatamento que desenvolve a expansão de grandes áreas de pastagens, de mineração, de cultivo agrícolas diversos, as estruturas de transportes, a urbanização enfim é a ação primeira de quase toda a ação antrópica no meio ambiente.

O impacto climático é desenvolvido a partir de autores como (SALATI e RIBEIRO, 1979; FISCH E NOBRE, 1998; FEARNSIDE, 2003) que caracterizam o clima na Amazônia por meio de estações pluviométricas trazendo dados e análises de temperatura e precipitação e projetando em cima dos impactos que a Amazônia vem sofrendo ao longo do tempo consequências climáticas para a população.

#### **2.1.1 Vegetação**

O bioma Amazônico é um conjunto de ecossistemas florestais que formam a maior floresta tropical do planeta, inserido na maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia Amazônica. Dividido em nove países da América do Sul: Brasil, Peru, Bolívia, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname, Equador e Guiana Francesa, resultando em um total de 6,9 milhões de quilômetros quadrados. Sua riqueza de espécies o qualifica como o maior bioma em biodiversidade do planeta, abrangendo mais de 30% das espécies de seres vivos inventariados (CARNEIRO FILHO e SOUZA, 2009; LEAL, 2019).

A Amazônia brasileira possui uma extensão significativa das florestas tropicais que existem no planeta terra, esse bioma localiza-se nos estados do Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão detendo de uma área de mais de 4 milhões de km<sup>2</sup>, totalizando 49% do território brasileiro (IBGE, 2004; BRASIL, 2008). A fauna e flora da Amazônia brasileira possuem ricas variedades de espécies, com mais de 30 mil espécies de plantas e árvores catalogadas (IBAM, 2015).

O bioma Amazônia compreende dois tipos de terra, a chamada terra firme que não se sujeita as inundações, e a terra inundável, as que são cobertas pelas águas do rio periodicamente. Nesse bioma a terra firme corresponde aproximadamente a 87% do território Amazônico, já os outros 13% representam o território de terra inundável (NASCIMENTO E HOMMA, 1984; , 2007). Esses dois tipos de terra resultam na qualidade do solo, nos tipos de vegetações e entre outros aspectos do seu uso e ocupação.

Na Cobertura Florestal do Bioma Amazônia, 41% da extensão do bioma está situada em áreas com umidade do ar elevada e muitas chuvas, essa cobertura florestal é conhecida como Florestas Úmidas e Florestas Pluviais Tropicais, o IBGE (2012) definiu uma terminologia para essas florestas, classificando-as como Floresta Ombrófila Densa, presentes e predominantes nas planícies aluviais e terras altas (MASCARENHAS JUNIOR, 2009; IBAM, 2015; LEAL, 2019).

A Floresta Ombrófila Densa possui variações de acordo com o ambiente em que elas se localizam. A Floresta Ombrófila Densa Aluvial, dividida em Matas de Várzea e Matas de Igapó, Ombrófila Densa de Terra Baixa, Ombrófila Densa Submontana e Ombrófila Densa Montana. No ecossistema de Floresta Ombrófila, além da Formação Floresta Ombrófila Densa, o Bioma Amazônia é constituído também por Formação de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacionais Sempre-Verde e Campinarana (IBGE, 2012).

### **2.1.2 Hidrografia**

A Bacia Amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo, tem uma extensão aproximada de 6,9 milhões de km<sup>2</sup>, com 63,88% da área da bacia situada no Brasil e os outros 36,12% restantes divididas entre a Colômbia, Bolívia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela. No território Brasileiro a bacia abrange os municípios do Amazonas, Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima (SILVA, 2013).

Os rios da Bacia Amazônica possuem uma forte influência das chuvas, seu leito de acordo com Irion *et al.* (1994 apud Ferreira Filho, 2020, p.45) chega a “uma largura média de 5 km durante seu curso, no estado do Pará chega a atingir quase 50 km de largura, no qual durante as grandes cheias, cobre totalmente seu leito maior, a várzea”, essa bacia escoar cerca de 20% de toda a água doce do mundo devido ao seu regime pluviométrico (IBAM, 2015).

Sua rede hidráulica fluvial é complexa pois recebe águas de mais de 1.100 tributários e se traduz por todas suas características como a bacia que é responsável conforme Ana (2015 apud TURQUEI, 2019, p. 14) “por 60% de toda a disponibilidade hídrica do país, com contribuição média da ordem de 132.145 m<sup>3</sup>/s”.

O rio principal da Bacia Amazônica, é o Rio Amazonas, que nasce na geleira das Cordilheira do andes no país peruano, recebe alguns nomes antes de entrar no Brasil, como Vilcanota, Ucayali, Urubamba e Maranhão. Entra no Brasil pelo município de Tabatinga com nome de Solimões e ao encontrar-se com o rio Negro, em frente a cidade de Manaus-AM, passa enfim a ser chamado de rio Amazonas e desemboca no oceano Atlântico, possuindo uma extensão de canal de mais de 6,6 mil quilômetros. Os principais rios tributários ao curso principal do rio Amazonas são os rios Juruá, Purus, Madeira, Xingu, Tapajós na margem direita e rio Negro, Trombetas, Japurá e Içá na margem esquerda (NASCIMENTO E HOMMA, 1984; SILVA, 2013).

### **2.1.3 Desmatamento**

Quando pensamos no bioma Amazônico com toda sua grandeza, riqueza e diversidade natural pensamos também nas problemáticas que o cerca, uma das principais é o desmatamento. Os conflitos de interesse surgem de forma iminente quando a pauta é sobre a proteção e o uso sustentável desse meio ambiente entre a sociedade civil, empresas, ONG's e os governos.

Isto posto, o desmatamento conforme a definição da Organização das Nações Unidas Para Alimentação e Agricultura - FAO, “é a substituição ou remoção da cobertura florestal em quase sua totalidade, ou seja, um processo que causa a mudança ou conversão no uso da terra a longo prazo” (FAO, s.d apud VASCONCELOS, 2015, p. 3). De acordo com (SANTOS, 2010, p. 37) “o desmatamento está relacionado com o corte raso de feições naturais em qualquer fitofisionomia de florestas, campos ou arbustos, mesmo em regeneração”.

Os fatores de desmatamento da Amazônia estão ligados a seu padrão de desenvolvimento político, social e econômico, Fearnside aponta que por trás do desflorestamento há as especulações, os incentivos governamentais e subsídios, inflação, crescimento populacional e todos esses motivos resultam na modernização da agricultura, pecuária, concentração de terra, expansão da mineração, exploração de madeira, migração acelerada e por consequência, a urbanização (FEARNSIDE, 1985 apud CALDAS, 2001; CARNEIRO FILHO, 2009; COUTINHO *et al.*, 2013; IBAM, 2015).

Observa-se que os tipos de desmatamento na Amazônia, como citado anteriormente, podem-se combinar quando analisados a partir do ciclo que percorrem garantindo além do corte da madeira, a permanência da área desmatada, é o que afirma Carneiro Filho e Souza:

A devastação segue um roteiro conhecido: 1) as madeireiras abrem viciniais a partir das rodovias na direção de locais com árvores valiosas, muitas vezes em áreas protegidas ou de comunidades ribeirinhas; 2) as madeireiras esgotam o estoque de madeiras nobres e buscam novas frentes de extração; 3) aproveitando-se das estradas abertas, grileiros e fazendeiros financiam a conversão da floresta em pasto com a venda da madeira restante; 4) consolida-se uma pecuária extensiva de baixa produtividade (CARNEIRO FILHO E SOUZA, 2009, p. 24).

A década de 70 é o marco do desmatamento na Amazônia, porque a partir desse período iniciou-se o plano do governo federal de ocupação da Amazônia, tornando mais significativos os desflorestamentos. A ideia do governo federal militar era construir infraestrutura e dar incentivos fiscais para alívio das pressões sobre os conflitos de problemas sociais e políticos que surgiam pela reforma agrária (ALMEIDA *et al.*, 2010; COUTINHO *et al.*, 2013).

Para o plano de ocupação da Amazônia, o Programa de Integração da Amazônia – PIN foi criado com o intuito de oferecer infraestruturas para atrair empresas nacionais e trabalhadores do sul e nordeste do Brasil, assim construindo rodovias como a BR – 010, Belém – Brasília, que foi um dos primeiros atos para a aceleração da ocupação da Amazônia ao longo das áreas próximas a rodovia. (ANDRADE, 2014; CALDAS, 2001). Além da BR-010, foram criadas também a BR - 163, Cuiabá – Santarém, e a BR-319 Manaus – Porto Velho, esses projetos de infraestruturas de construção e melhorias de rodovias na Amazônia despertaram grandes interesses de exploradores de terras e madeiras ilegais (FEARNSIDE, 2006).

De acordo com Carneiro Filho e Souza, (2009) o governo federal militar promovia a doação de terras e recursos do programa do governo mediante a comprovação de produção na Amazônia e segundo o autor a maneira mais fácil de se comprovar era abrindo pastos, prática essa adotada tanto pelos pecuaristas quanto pelos grileiros.

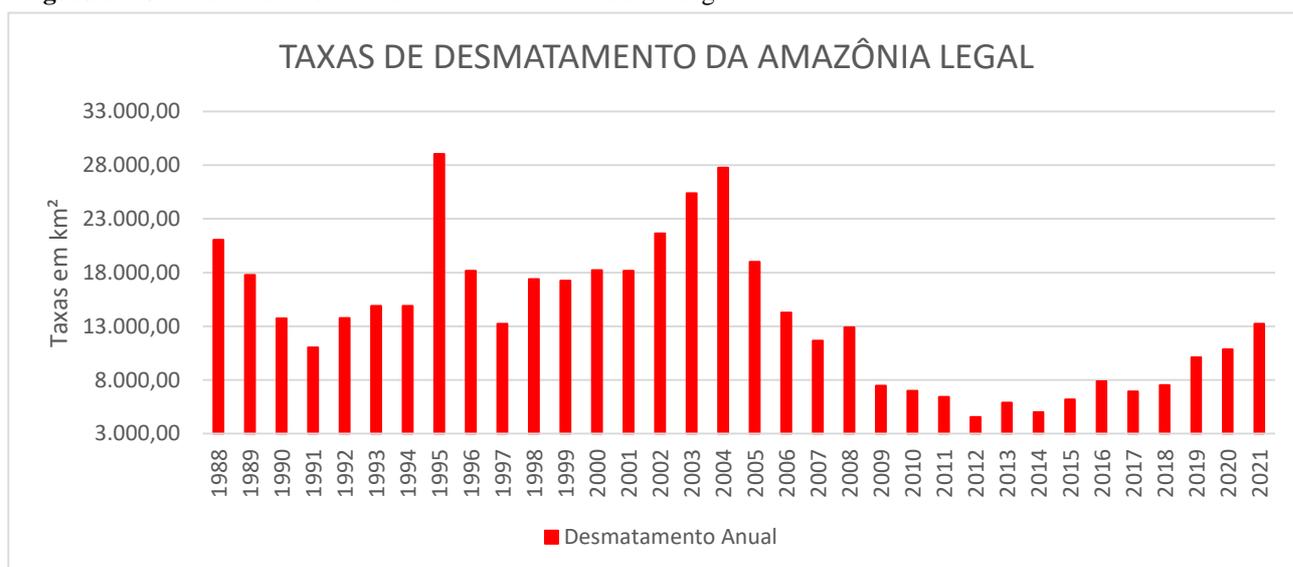
Grande parte dos migrantes chegaram na Amazônia brasileira por meio dos órgãos governamentais, mas segundo Caldas (2001) houveram também migrações incentivadas mediante projetos privados e espontâneos, no caso dos pequenos produtores com o intuito de adquirir terras, invadindo áreas florestadas e as transformando em pastos.

Algumas regiões da Amazônia tendem a sofrer mais com o desmatamento, é o caso da região chamada arco do desmatamento que compreende os estados do Pará, passando pelo norte de Tocantins, Mato Grosso, Rondônia e termina no Acre, regiões que concentram os maiores índices de desmatamento (FEARNSIDE, 2009), essas regiões segundo (SANTOS, 2018) marcam a expansão da fronteira agropecuária.

Com os dados das taxas de desmatamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, figura 1, desde o ano de 1998 a 2008 é possível observar que na Amazônia legal

houveram taxas mínimas anuais acima de 10 mil km<sup>2</sup>. Entre os anos de 2009 a 2018 foi constatado uma queda nas taxas anuais de desmatamento, as taxas mínimas ficaram abaixo dos 8 mil km<sup>2</sup> nesses 10 anos, já entre os anos de 2019 a 2021 os números voltaram a crescer e as taxas mínimas de desmatamento ficaram acima de 10 mil km<sup>2</sup>. Em 2021 a taxa de desmatamento chega a 13 mil km<sup>2</sup> sendo o maior número desde o ano de 2006, a maior taxa em 15 anos.

**Figura 1** - Gráfico de Taxas de desmatamento da Amazônia Legal



**Fonte:** INPE (2022); **Elaboração:** Filipe de Araujo Oliveira.

### 2.1.4 Impactos Climáticos

O Clima da Amazônia é quente e úmido localizando-se na região equatorial tem nos seus elementos climáticos, por se tratar de uma extensa área, uma grande variabilidade tanto no espaço quanto ao longo do ano, a temperatura por exemplo tem uma amplitude térmica sazonal de 1°C a 2°C ao longo da região amazônica, tal como Belém – PA que aponta temperatura média mensal máxima de 26,5 em novembro e a média mensal mínima de 25,4°C em março. Já em Manaus – AM, as médias mensais são de 27,9°C nos meses de setembro e 25,8°C nos meses de abril, sendo as médias máximas e mínimas respectivamente. Outro elemento climático que é interessante ser citado é a precipitação, que possui uma média anual de 2300 mm, mas como citado anteriormente, há uma grande variabilidade dos elementos climáticos na Amazônia, tendo regiões que tem um acúmulo anual de até 6000 mm. (FISCH e NOBRE, 1998).

O clima de uma região, como a Amazônia, é definido pela combinação de vários fatores entre eles a vegetação, a altitude, relevo, atividades humanas, mas segundo (FISCH E NOBRE, 1998) o mais importante deles é a energia solar por meio do balanço de energia terrestre.

A energia proveniente do sol sofre algumas interferências antes de chegar na superfície da terra. Na atmosfera os raios solares sofrem o processo de espalhamento e absorção, e quando atravessa a atmosfera, atinge a superfície passando pelos processos de reflexão, absorção, difusão e emissão (STEINKE, 2012). O balanço de radiação do planeta terra é essencial para que o saldo de energia seja equilibrado entre atmosfera e biosfera:

A diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e da radiação “perdida” (emitida ou refletida) por uma superfície – medida, normalmente em plano horizontal – é chamada de balanço de energia ou saldo de radiação, que representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Esse balanço de radiação da superfície terrestre governa o aquecimento e o resfriamento do ar e condiciona a sua temperatura (STEINKE, 2012, p. 46)

A perda de vegetação de uma região por exemplo afeta no balanço de radiação, interferindo na troca energética entre superfície e atmosfera por meio da modificação no fluxo de calor sensível (H) e calor latente (L). A perda da vegetação resulta no aumento do albedo e consequentemente reduz o saldo de radiação e calor latente (L) (ANDRADE, 2014). Assim o balanço de energia pode ser quantificado pela seguinte fórmula segundo Andrade (2014, p. 25) onde, “ $R_n = LE + H + G$ , em que  $R_n$  é o saldo de radiação, H representa o fluxo de calor sensível ( $W m^{-2}$ ), LE é o fluxo de calor latente de evaporação ( $W m^{-2}$ ) e G é o fluxo de calor no Solo ( $W m^{-2}$ ).”

A floresta Amazônica possui um grande papel para as chuvas na sua região, representando 50% da precipitação por meio do seu processo de evapotranspiração (SALATI e RIBEIRO, 1979) além da manutenção de chuva em outras regiões do Brasil.

As consequências da substituição ou perda da cobertura vegetal de forma significativa para região amazônica são: primeiro a diminuição do tempo em que a água ficará na bacia e os impactos como as inundações tudo isso levará em consideração a permeabilidade do solo e a ausência da retenção da água pela vegetação. Segundo, a diminuição das chuvas já que a vegetação é responsável por metade das ocorrências de chuva na região. Terceiro, a alteração no ecossistema perdurando perturbações a fauna e flora até ser atingido um novo equilíbrio ecológico. Quarto, da energia solar que atinge a região Amazônica mais da metade dessa energia é utilizada para as plantas realizarem a evapotranspiração, no caso de diminuição e

perda da vegetação, a energia que era utilizada pela vegetação desmatada será empregada no aquecimento do solo exposto e do ar (SALATI e RIBEIRO, 1979).

De acordo com (FEARNSIDE, 2003) espera-se por meio de estudos como de (CARTE e HULME, 2000) que por consequência do efeito estufa, fenômeno natural, mas intensificado por atividade humanas, há um aumento de 1°C de temperatura e, com modelos matemáticos (MITCHELL *et al.*, 1995) a diminuição de precipitação para região Amazônica. Assim com a “temperatura mais alta, aumenta as exigências das plantas por água, portanto aumenta o estresse hídrico resultante da perda de precipitação. A perda de chuva devido à redução da evapotranspiração seria adicional às reduções de precipitação devido ao efeito estufa”.

As modificações no espaço promovida pelo homem interfere os padrões naturais de troca de energia da terra com a atmosfera. Entre as modificações têm-se impermeabilidade do solo, retirada da cobertura vegetal, emissão de gases poluentes e todos esses resultados alteram o clima, tendo como um dos indicadores dessa alteração eventos extremos como o aumento e diminuição de chuvas, o aumento de temperatura. Esses indicadores apontam para a degradação do planeta (MASCARENHAS JUNIOR, 2009).

## **2.2 Sensoriamento Remoto Multiespectral**

O sensoriamento remoto obtém dados de lugares mais remotos da fase da terra observando o alvo sem o contato direto. De acordo com (FLORENZANO, 2007, p. 11) o sensoriamento remoto por meio do satélite “permite obter as imagens e outros tipos de dados, da superfície, por meio de captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície” Os satélites são como câmeras fotográficas possuindo lentes com sensores que captam diversos comprimentos de ondas a uma altitude de mais 822 quilômetros (LIU, 2006).

Segundo (VAREIRO, 2020) os satélites com 3 a 10 de bandas são denominados multiespectrais, o que possui banda que chegam à casa de centenas de banda são chamados de hiperespectrais. Os sensores dos satélites podem obter dados de variados objetos que estejam na superfície da terra. Esses objetos denominados de alvo, tem um comportamento espectral conforme (ROSA, 2009, p. 41) “pode ser definido como sendo a medida da refletância deste alvo, ao longo do espectro eletromagnético”. Exemplificando três alvos como a água, solo e vegetação cada um apresentará uma melhor resposta em faixa de espectro eletromagnético diferente.

Por meio das informações oferecida por imagens de satélite as aplicações nas áreas ambientais, por exemplo, são inúmeras: o estudo sobre o uso e ocupação da terra. Esse estudo

dispõe de variadas metodologias para a conseguir chegar a um resultado, metodologia estas alimentadas por informações de imagens de satélites que fornecem com maior frequência informações e melhores resoluções espaciais e temporais daquela área estudada. A relevância dessa técnica é encontrada em pesquisas sobre uso e cobertura da terra, geologia, crescimento urbano, como é o caso de trabalhos como do Florenzano (2007), Liu (2006), Lopes *et al.* (2010) e Seabra e Cruz (2013).

Outro exemplo que podemos utilizar com informações subsidiadas por imagens de satélites, é o estudo de temperatura de superfície, recurso disponível, utilizando satélites que captam dados na região do infravermelho termal, permitindo a realização de estudos do comportamento térmico da superfície terrestre (BARBOSA E VECCHIA, 2008).

### **2.2.1 Radiação Eletromagnética**

No sensoriamento remoto existem tipos de fontes de energias para a quantificação da Radiação Eletromagnética – REM, essa energia eletromagnética pode ser emitida por qualquer corpo que tenha temperatura acima de zero absoluto, entre elas está a radiação solar (MORAES, 2002). O sol possui uma superfície com alta temperatura chegando a aproximadamente 6000 °C, e gerando uma quantidade de energia irradiada para todo espaço com uma propagação pelo vácuo de aproximadamente 300.000 km/s (STEFFEN, s.d; MENESES e ALMEIDA, 2012).

O sol é uma fonte natural da radiação eletromagnética. Os raios solares que passam pela atmosfera e interagem com os objetos da superfície terrestre podem ser refletidos, transmitidos, absorvidos e emitidos. A radiação eletromagnética que é captada pelos sistemas de sensores é refletida e a emitida seja por objetos naturais e artificiais (ROSOT, 2001).

Além do sol ser uma fonte natural de radiação eletromagnética, a terra também possui uma fonte de energia que contribui para o sensoriamento remoto principalmente na faixa espectral da banda do termal, já que nos demais comprimentos de onda possui uma baixa intensidade como fonte de radiação eletromagnética (MENESES e ALMEIDA, 2012).

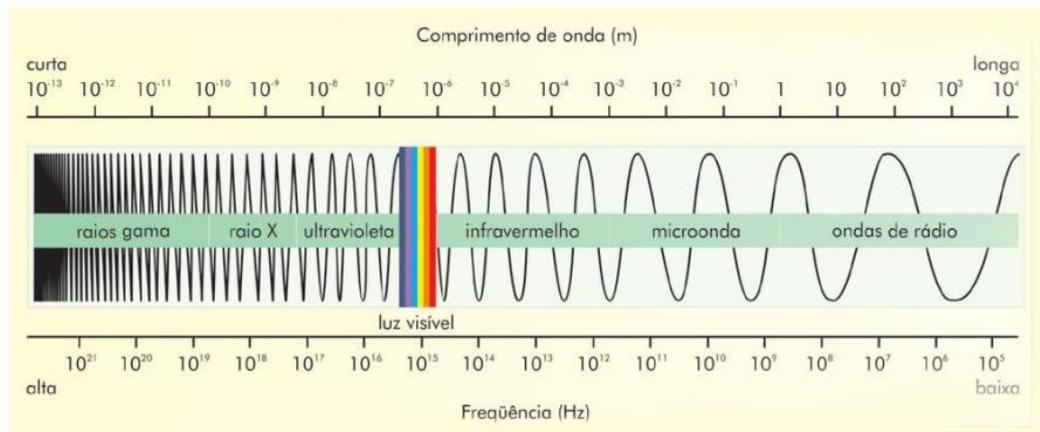
Ademais de sensores passivos que não possuem energia própria e depende de outras fontes de energias como a do sol, existem também os sensores ativos como os radares e lasers, por exemplo, que possuem suas próprias fontes de radiação, emitindo uma quantidade suficiente de energia no objeto tido como alvo para a captação de sua reflexão, que podem coletar dados em qualquer horário e condições atmosféricas (FITZ, 2010).

### 2.2.2 Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético são regiões espectrais da radiação eletromagnética, definida pelo homem de forma arbitrária, levando em consideração os comprimentos de ondas e a frequência, variando desde comprimentos de ondas curtas e de alta frequência como os raios gamas, até os comprimentos de ondas longas e de baixa frequência como as ondas de rádios (MORAES, 2002; FLORENZANO, 2007; FITZ, 2010; MENESES e ALMEIDA, 2012).

No espectro eletromagnético existem dois conceitos importantes, a frequência e o comprimento da onda, segundo Florenzano (2007, p. 13), figura 2, a “frequência (em unidades de Hertz-Hz) é o número de vezes que uma onda se repete por unidade de tempo. O comprimento de onda (em unidade de metro) é a distância entre dois picos de ondas sucessivas”. Assimilar esses conceitos é fundamental para o uso do sensoriamento remoto, isso porque as imagens utilizadas são de composições de bandas que remetem a cada intervalo espectral, levando em consideração cada sensor de satélite utilizado.

**Figura 2** - Espectro eletromagnético



**Autor:** FLORENZANO (2007).

Os intervalos de frequências ou faixas de comprimento de onda são raios cômicos, raios gamas, raio x, faixa do ultravioleta (UV), faixa do visível, faixa do infravermelho, faixa do micro-ondas, faixa de ondas de rádios e TV. De acordo com Fitz (2010) essas são as seguintes definições de cada intervalo de frequência:

- Raios cômicos, radiações naturais com grande poder de penetração, que tem seu efeito absorvido pela atmosfera terrestre. Possuem o menor comprimento de onda do espectro eletromagnético.

- Raios gama, com enorme frequência e o menor tamanho de onda de todo o espectro eletromagnético, excetuando-se os raios cósmicos, com cerca de 1 picometro (pm), ou seja  $10^{-12}$  m.
- Raios X, bastante utilizado na área da saúde, ocupando os comprimentos de ondas situados entre, aproximadamente, 0,01  $\mu\text{m}$ .
- Faixa do ultravioleta (UV), cuja radiação é essencial para a existência da vida na terra, mas também pode causar danos ao ser humano (queimaduras, alergias ou câncer de pele). É pouco utilizada para trabalho em SR e ocupa uma grande faixa do espectro, de cerca de 100 nm a 400 nm.
- Faixa do visível, que possui como principal característica a propriedade de abarcar os comprimentos de onda cuja radiação pode ser percebida pelo olho humano. Essa condição a transforma na principal porção do espectro eletromagnético para uso em sensoriamento remoto. A banda do visível possui comprimento de ondas entre 0,38  $\mu\text{m}$  (violeta) e 0,74  $\mu\text{m}$  (vermelho).
- Faixa do Infravermelho (IV ou IR), largamente utilizada em trabalhos de sensoriamento remoto pelo fato de estar associada ao calor. Esse tipo de radiação é emitido por corpos aquecidos. A faixa do infravermelho está situada entre os comprimentos de onda de 0,7  $\mu\text{m}$  a 1,0 mm, apresentando subdivisões infravermelho próximos (entre 0,7  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (entre 5  $\mu\text{m}$  e 30  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho distante (entre 30  $\mu\text{m}$  e 1,0 mm). A porção situada entre cerca de 8  $\mu\text{m}$  e 14  $\mu\text{m}$  é chamada de infravermelho termal, pois nela se estabelecem as emissões máxima de calor de um corpo.
- Faixa do micro-ondas, que apresenta bons resultados para sensores com o radar, já que essa radiação é pouco afetada pela atmosfera (o efeito de nebulosidade é desprezível, por exemplo). As micro-ondas situam-se na faixa de 1mm a 30 cm, ou cerca de 3 GHz a 300 GHz.
- Faixa das ondas de rádio e TV, as quais, conforme se pode deduzir, são muito utilizadas para comunicação. Possuem comprimentos de ondas variados (de 30 cm até vários quilômetros). As ondas de rádio com frequência próxima de 100 Hz podem ser refletidas pela ionosfera, o que propicia a cobertura de grandes distâncias, porém com bastante ruído (FITZ, 2010, pp. 102-104).

Na região do espectro onde se encontra a faixa do visível, considerada uma das mais importante do sensoriamento remoto, há grandes variações de energia refletida que dá um efeito visual e a distingue pela sua cor. Nessa faixa se o objeto é azul ele vai refletir o espectro da faixa do azul da energia eletromagnética que o atingiu e absorve as demais cores. (FLORENZANO, 2007). Veja na tabela 1 os comprimentos de ondas das cores da região do visível.

**Tabela 1** - Divisões dos comprimentos de ondas das cores da região do visível

<b>Comprimento de Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Cor da luz refletida</b>
0,380 a 0,440	Violeta
0,440 a 0,485	Azul
0,485 a 0,500	Ciano
0,500 a 0,565	Verde
0,565 a 0,590	Amarelo
0,590 a 0,625	Laranja
0,625 a 0,740	Vermelho

**Fonte:** Fitz (2010)

### 2.2.3 Comportamento Espectral dos Alvos

A energia eletromagnética ao atingir os alvos sofre interações com os elementos que compõem esses alvos, podendo ser refletido, absorvido e transmitido. A intensidade da reflexão, emissão e transmissão vai depender das propriedades biológicas, químicas e físicas dos objetos.

Os comportamentos espectrais são definidos pelas assinaturas espectrais as quais são estabelecidas pela quantificação da porcentagem de energia que é refletida. Essa reflectância é determinada pela razão entre a quantidade de energia radiante e irradiante medidas no mesmo instante de tempo (MENESES e ALMEIDA, 2012; VAREIRO, 2020).

Para aplicação do sensoriamento em estudos como técnica de coletas de dados em uma pesquisa, é preciso adquirir conhecimento das regiões do espectro eletromagnético para escolher os intervalos adequados para os objetivos pretendidos, sendo assim a seguir podemos ver características gerais do comportamento espectral de alguns alvos.

Para a vegetação sadia o seu comportamento espectral é de alta absorção na região do visível, isso porque a fotossíntese demanda energia, já que a clorofila absorve 65%, a xantofilas 29%, os carotenos 6% e entre outros que variam conforme as espécies de planta. Já nos comprimentos de onda do infravermelho próximo há uma alta reflectância em virtude da menor absorção de luz conforme o aumento da biomassa. A quantidade de água nas folhas também

diminui a reflectância (MORAES, 2002; JENSEN, 2009; MOREIRA, 2001 apud VAREIRO, 2020; NOVO E PONZONI, 2001 apud VAREIRO, 2020).

A resposta espectral da vegetação varia de acordo com comprimento de onda e a característica da vegetação. A vegetação tem respostas em duas regiões do espectro, a faixa do visível e do Infravermelho próximo e médio, assim Viécili, (2005) reforça o que foi citado anteriormente de forma resumida:

- Na **região do visível**, a pigmentação das folhas é o fator dominante onde a maior parteda energia incidente é absorvida e o restante é refletido. Em geral, na região do espectro visível a reflectância é baixa sendo dominadas pelos pigmentos.
- No **infravermelho próximo**, os níveis de reflectância são controlados pela estrutura interna das folhas, onde aproximadamente metade da energia incidente é refletida, grande parte do restante é transmitida e pouca energia é absorvida pelas folhas. Em geral, nesta região a reflectância espectral da vegetação é dominada pela complexa estrutura interna da folha, sendo pouco afetada pelos pigmentos e pelo conteúdo de água, observando-se uma alta reflectância pela estrutura interna e baixíssimos níveis de absorção.
- No **infravermelho médio**, o teor de umidade da vegetação controla a reflectância, onde grande parte da energia incidente é absorvida pela água presente nas folhas. Nesta região do espectro a reflectância da vegetação caracteriza-se por um decréscimo dos valores da energia refletida, em razão, principalmente, da quantidade de água líquida presente na folha (VIECELI, 2005, p. 35).

Segundo Souza Filho *et al.* (2008) as altas reflectâncias da vegetação são também produtos das folhas espessas e folhas secas, tendo uma transmitância baixa, diferente das folhas delgadas e compactas onde a transmitância é alta e a reflectância baixa.

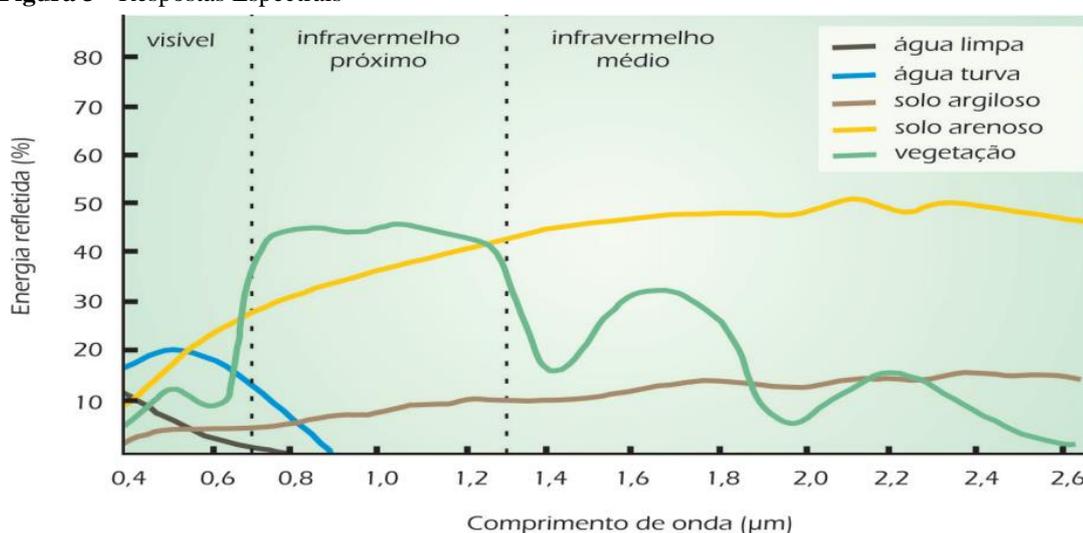
O nível de complexidade da interação entre radiação e solo segundo Rosot (2001), tem níveis menores de complexidades se comparado a interação entre radiação e vegetação, em razão de que a energia no solo é absorvida ou refletida, não passando pelo processo de transmitância da energia como ocorre na vegetação.

O solo é constituído de propriedades que advem dos efeitos do clima e dos organismos vivos como os animais e plantas. Dentre essas propriedades é possível destacar algumas que são essenciais para níveis de respostas espectrais do solo, entre eles o óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria e textura. Para cada uma dessas propriedade haverá regiões do espectro com melhores respostas espectrais, figura 3, devido suas características, variando no espectro desde 0,45 até 2,36 micrometros (ROSOT, 2001; MORAES, 2002; RODRIGUEZ, 2005).

A textura dos solos é determinada pela constituição de argila, silte e areia. Os solos

argilosos possuem uma alta compactação, isso porque são composto de partículas pequenas, ocasionando uma baixa drenagem. Já nos solos arenosos as partículas são maiores permitindo espaços entre elas e conseqüentemente permitindo o movimento de ar ou água, resultando em uma melhor drenagem. Assim a água passa a ser um dos elementos essenciais para a reflectância de cada um dos solos, no caso do solo argiloso sua drenagem baixa e evaporação lenta tende a ter uma baixa reflectância, o que se difere do solo arenoso onde o solo é mais seco comparada ao solo argiloso resultando em uma maior reflectância (ROSOT, 2001; VIECILI, 2005).

**Figura 3** - Respostas Espectrais



**Fonte:** Florenzano (2007)

A água na biosfera pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e gasoso, cada estado possui componentes que determinam sua interação com a radiação solar, ou seja, seu comportamento espectral. A principal característica da água em relação a sua resposta espectral é que grande parte da radiação incidente é absorvida e essa absorção tem razões diferentes dependendo do estado físico da água. Na água líquida por exemplo há uma variabilidade de absorção entre água limpa e água turva. Segundo (NOVO, 1989 apud VIECILI, 2005, p. 35) a absorção da radiação incidente nas águas de estado líquido decorre de substâncias orgânicas dissolvidas, biota fotossintetizadora, partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão e a própria água. Dentre a faixa do espectro eletromagnético o comportamento espectral para a água líquida pura é de absorção de quase toda radiação abaixo de 0,38 μm e acima de 0,7 μm, já entre a faixa 0,38 μm a 0,7 μm a porcentagem de reflectância pode chegar até entre 5% a 10% (RODRIGUEZ, 2005; MORAES, 2002; LIMA, 2006).

## 2.2.4 Sistema Sensores

Os sensores remotos são equipamentos capazes de captar a energia eletromagnética refletida ou emitida por alvos da superfície terrestre transformando em imagens, gráficos ou dígitos. Esses sensores podem se apresentar de variadas plataformas, ou seja, o tipo de suporte usado por cada sensor para detecção da energia eletromagnética. E esses tipos de plataformas dependem do nível de altitude que os sensores serão utilizados, por exemplo os satélites são plataformas a níveis orbitais, os aviões são a níveis aéreos, ARP a níveis semi aéreos, espectro radiômetro a níveis de campo, sensor de índice de vegetação a níveis proximais e clorofilômetro a níveis de contato (MORAES, 2002; NOVO e PONZONI, 2001 apud VAREIRO, 2020).

Os sensores podem ser classificados de acordo com alguns parâmetros, entre eles os tipos de energias de origem, sensores imageadores ou não imageadores e o tipo de produto gerado, como os sensores ativos e passivos. Os sensores imageadores são aqueles que transformam os dados da REM em imagem, como por exemplo as fotos de uma câmera fotográfica. Já os não imageadores traduzem os dados coletados convertendo em gráficos e dígitos. (FLORENZANO, 2007; FITZ, 2010).

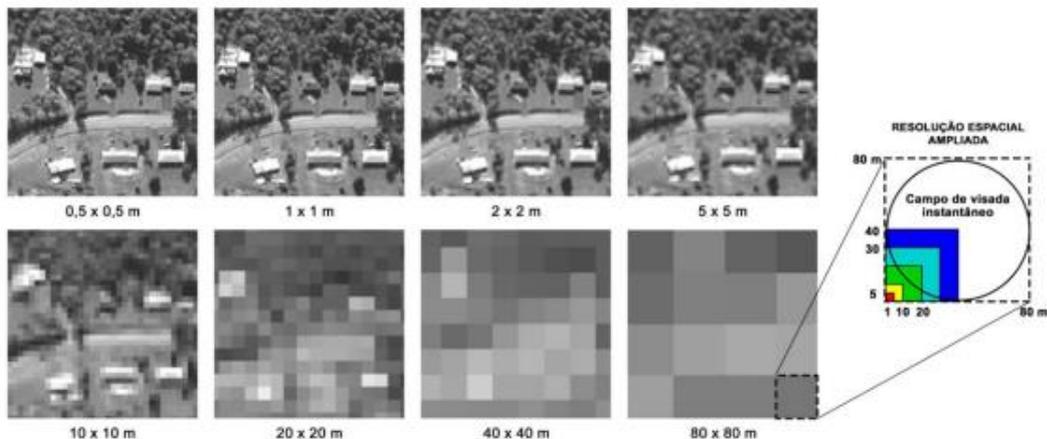
Os sistemas sensores passivos não possuem fonte de energia própria e dependem da energia solar para captar a energia refletida e emitida pelos alvos na superfície terrestre, ou seja, esse tipo de sensor está limitado a captar os dados da REM somente quando a condição ambiente de luz e outras condições atmosféricas estiverem a seu favor, isso porque depende de uma fonte de energia externa, como por exemplos os satélites LANDSAT, CBERS, Sentinel-2, SPOT, IKONOS e entre outros. Já os sensores ativos possuem fonte de energia própria, eles emitem energia eletromagnética em direção aos seus alvos na superfície terrestre e detectam a energia refletida em sua direção, os radares são exemplos de sensores ativos, que produzem energia na região da micro-ondas podendo obter imagens em qualquer horário do dia e noite sem depender das condições atmosférica de tempo, exemplo do satélite SENTINEL-1, RADARSAT, AQUA, TerraSAR-X e entre outros (VIECILI, 2005; FLORENZANO, 2007; FITZ, 2010).

Os sensores são constituídos de componentes como o coletor, filtro, detetor, processador e unidade de saída. Esses componentes são responsáveis desde a seleção da faixa espectral que é o caso do filtro, até o componente detetor que produz um sinal elétrico ao absorver a energia vinda da superfície terrestre (MORAES, 2002).

### 2.2.4.1 Resolução Espacial

As imagens de satélite possuem algumas propriedades que são formas de medições para detecção do objeto, entre elas a resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica, resolução temporal. A resolução espacial tem a capacidade, por meio de sensor, distinguir objetos na superfície terrestre, figura 4. Essa resolução indica o tamanho do menor objeto que pode ser visto na superfície pelo sensor, tendo a relação entre tamanho da área focalizada e a altitude do sensor. Assim ao enxergar o objeto na superfície terrestre há a relação quanto ao menor o objeto visto maior a resolução espacial. As imagens de satélites são constituídas por pixels, assim outra definição prática é a relação inversa entre o tamanho do pixel e a resolução espacial, ou seja, quanto menor o pixel maior a resolução espacial da imagem e consequentemente com um maior nível de detalhamento se comparada a um pixel maior (MENESES e ALMEIDA, 2012).

**Figura 4** - Resolução Espacial



**Fonte:** Jensen (2009)

### 2.2.4.2 Resolução Espectral

A resolução espectral é determinada pela largura em que opera um sensor, pelo número de bandas que ele possui e as posições que as bandas estão no espectro eletromagnético. Assim um sensor X terá maior resolução espectral em relação ao sensor Y quando menor for sua largura de intervalo de comprimento de onda e maior o número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais (VIECILI, 2005; FITZ, 2010; MENESES e ALMEIDA, 2012).

Exemplificando com os satélites que ainda estão em atividades, figura 4 e 5, comparando o sensor OLI do Landsat-8, figura 4, e o sensor PAN do CBERS-4, figura 5, é possível descrever que o sensor OLI possui uma resolução espectral maior que o sensor PAN

**Tabela 2** - Sensor OLI do Landsat-8

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	ÁREA IMAGEADA	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
OLI (Operation Land Imager)	B1 - Coastal	0.43 - 0.45 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	B2 - Azul	0.45 - 0.51 $\mu\text{m}$				
	B3 - Verde	0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$				
	B4 - Vermelho	0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$				
	B5 - Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$				
	B6 - Infravermelho médio	1.57 - 1.65 $\mu\text{m}$				
	B7 - Infravermelho médio	2.11 - 2.29 $\mu\text{m}$	15 m			
	B8 - Pancromático	0.50 - 0.68 $\mu\text{m}$	30 m			
	B9 - Cirrus	1.36 - 1.38 $\mu\text{m}$				

Fonte: USGS (2019) e ENGESAT (s.d).

**Tabela 3** - Sensor PAN do CBERS-4

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	ÁREA IMAGEADA	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
PAN	G	0,51 - 0,85 $\mu\text{m}$	52 dias	10 m	8 bits	60 km
	R	0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$				
	NIR	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$		5 m		
	PAN	0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$				

Fonte: EMBRAPA (s.d).

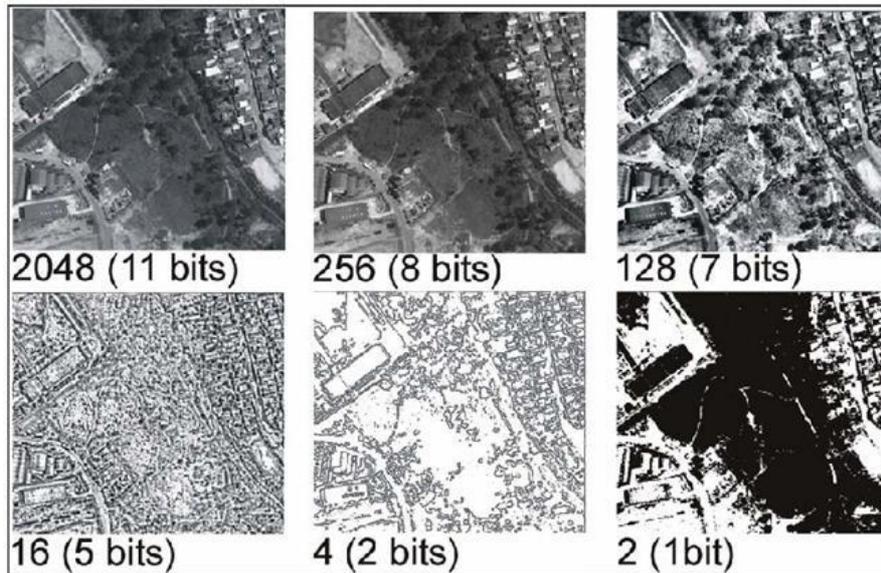
### 2.2.4.3 Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica se dá pela sensibilidade do sensor em distinguir variações nas intensidades de níveis de radiância. A quantificação da resolução radiométrica é feita por meio de dígitos binários denominados bits, esses números representam a quantidade de níveis de cinza que uma determinada imagem que um sensor possui, quanto maior for o número de níveis de cinza de um sensor maior é sua resolução radiométrica (MENESES e ALMEIDA, 2012; JENSEN, 2009; VAREIRO, 2020).

Exemplificando, o nível de cinza é quantificado pela fórmula  $2^n$  onde “n” é o número de bits, assim se uma imagem tem 8 bits então ela possui  $2^8=256$  níveis de cinza, se outra imagem possui 12 bits, logo ela detém  $2^{12} = 4096$  níveis de cinza, conseguindo distinguir até

4096 valores de radiância por banda. Assim quanto maior a resolução radiométrica melhor os detalhes visuais, figura 5.

**Figura 5** - Resolução radiométrica



Fonte: ENGESAT (s.d)

#### 2.2.4.4 Resolução Temporal

A resolução temporal é determinada pela repetição da observação, ou seja, uma revisita do sensor em uma área da superfície terrestre. Essa revisita em uma determinada área indica um intervalo de tempo que obtém novas imagem de forma periódica durante a atividade do satélite. A resolução temporal depende das características da plataforma do sensor, entre essas características estão a inclinação em relação a linha do equador, altitude, o tempo para completar uma órbita na terra e o tamanho da faixa de imageamento (MENESES e ALMEIDA, 2012, VAREIRO, 2020).

Dependendo de suas características levam aproximadamente de semanas a meses para o satélite passa na mesma área, o Landsat-8 por exemplo tem um período de revisita de 16 dias, já o Sentinel 2 tem uma resolução temporal de 5 dias pois trabalha com dois satélites Sentinel – 2, o Sentinel – 2A e o Sentinel – 2B. Enquanto o CBERS-4, o sensor PAN tem uma resolução temporal de 52 dias. Assim a maior resolução temporal entre os três é do satélite Sentinel – 2. Os satélites com curto período de revisita são essenciais para aplicações de estudo e trabalhos de monitoramento, detecção de mudança em áreas na superfície terrestre, principalmente para fenômenos com grande variabilidade (EMBRAPA, s.d; ESA, s.d).

### 2.2.4.5 Landsat-8

A série de satélites Landsat foi um projeto desenvolvido pela Agência espacial americana, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *U.S. Geological Survey* (USGS), com o intuito de observar recursos naturais terrestres. O primeiro lançamento da série Landsat aconteceu em 1972, Landsat-1, com dois sensores a bordo, o RVB e MSS (USGS, 2019). Desde o seu primeiro lançamento até o ano de 2022 já foram lançados 9 Landsats.

Dentre os satélites Landsats, o Landsat-8 foi escolhido para execução desse trabalho pois atende aos requisitos de satélites que permitem o alcance dos objetivos propostos. Esse satélite foi lançado dia 11 de fevereiro de 2013, na base área de Vandenberg, Califórnia, levando a bordo os sensores *Operacional Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

O Landsat-8 possui uma órbita polar heliosíncrona, tabela 4, com 98,2 graus de inclinação, altitude de 705 km, órbita completa terrestre em 99 minutos, uma frequência de revisita de 16 dias, com horário de imageamento aproximadamente às 10h da manhã, resolução radiométrica de 16 bits por pixel e faixa imageada de 183 km, como podemos observar na tabela 2 (USGS, 2019).

As bandas do sensor OLI são divididas em: multiespectral com bandas de 1 a 7 e 9, pancromática com a banda 8, já o sensor TIRS possuem as bandas termais 10 e 11. As resoluções espaciais e espectrais dependem de cada sensor e banda. A resolução espacial para o sensor OLI nas bandas de 1 a 7 e 9 tem o tamanho do seu pixel de 30 metros, já o pancromático tem resolução espacial de 15 metros. No sensor TIRS as bandas 10 e 11 tem resolução espacial de 100 metros (INPE, s.d).

**Tabela 4** - Característica Gerais do Landsat-8.

<b>Instrumento/Sensor</b>	OLI e TIRS
<b>Operadora/Instituição Responsável</b>	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
<b>País</b>	Estados Unidos
<b>Situação Atual</b>	Ativo
<b>Lançamento</b>	02/11/2013
<b>Altitude</b>	705 Km
<b>Inclinação</b>	98,2°
<b>Órbita</b>	Circular, Polar e Heliossíncrona
<b>Faixa Imageada</b>	185 Km
<b>Tempo de Furação da Órbita</b>	99 min

<b>Horário da Passagem</b>	10h / 12h
<b>Período da Revisita</b>	16 dias
<b>Resolução Espacial</b>	Pancromático: 15 m   Multiespectral: 30 m   Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte – INPE (s.d).

Na resolução Espectral cada banda indica a região e largura do espectro magnético em que os sensores operam, tabela 5, Banda 1 Aerossol Costeiro (0,43 - 0,45  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 2 Azul (0,45 - 0,51  $\mu\text{m}$ ), Banda 3 Verde (0,53 - 0,59  $\mu\text{m}$ ), Banda 4 Vermelha (0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$ ), Banda 5 Infravermelho Próximo (0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$ ), Banda 6 SWIR 1 (1,57 - 1,65  $\mu\text{m}$ ), Banda 7 SWIR 2 (2,11 - 2,29  $\mu\text{m}$ ), Banda 8 Pancromática (PAN) (0,50 - 0,68  $\mu\text{m}$ ), Banda 9 Cirrus (1,36 - 1,38  $\mu\text{m}$ ), Banda 10 Infravermelho Termal (10,6 - 11,19  $\mu\text{m}$ ), Banda 11 Infravermelho Termal (11,5 - 12,51  $\mu\text{m}$ ).

**Tabela 5** - Informações dos Sensores Landsat-8

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	ÁREA IMAGEADA	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
OLI (Operational Land Imager)	B1 - Coastal	0.43 - 0.45 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	B2 - Azul	0.45 - 0.51 $\mu\text{m}$				
	B3 - Verde	0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$				
	B4 - Vermelho	0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$				
	B5 - Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$				
	B6 - Infravermelho médio	1.57 - 1.65 $\mu\text{m}$				
	B7 - Infravermelho médio	2.11 - 2.29 $\mu\text{m}$				
	B8 - Pancromático	0.50 - 0.68 $\mu\text{m}$	15 m			
	B9 - Cirrus	1.36 - 1.38 $\mu\text{m}$	30 m			
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	B10 - Infravermelho Termal	10.6 - 11.19 $\mu\text{m}$	100 m			
	B11 - Infravermelho Termal	11.5 - 12.51 $\mu\text{m}$	100 m			

Fonte: USGS, INPE, ENGESAT (s.d)

## 2.3 Classificação Supervisionada

Entre as ferramentas disponíveis para a análise das imagens de satélites estão os métodos de classificação. A classificação diz respeito a identificação de elementos presentes nas imagens orbitais, associando cada pixel as classes estabelecidas de forma automática ou manual. Entre as variedades de métodos de classificação pode-se dividi-las de acordo com diferentes critérios, esses são, classificação paramétrica, classificação não-paramétrica, classificação espectral, classificação espacial, classificação não supervisionada e classificação supervisionada (FITZ, 2010; MENESES e ALMEIDA, 2012). Para o presente trabalho foi utilizado o método de classificação supervisionada por se mostrar o mais difundido e com melhores resultados nas literaturas e em pesquisa do campo acadêmico.

A classificação de imagem é um processo que usa modelos matemáticos chamado de algoritmos, esses algoritmos procedem de modos estatísticos e probabilísticos, são executados no pré-processamento de treinamentos pelo usuário, no caso da classificação supervisionada esse treinamento fornece amostra de classes de pixels. Deste modo essa classificação exige do usuário, um conhecimento das classes (VALE et al, 2018).

A classificação supervisionada por pixels procede da seguinte forma segundo (MENESES e ALMEIDA, 2012, p.192):

Se um pixel satisfaz um determinado conjunto de critérios, normalmente avaliados por medidas estatísticas, o pixel é atribuído à classe que melhor satisfaz os critérios estabelecidos. Por exemplo, se os valores digitais de um pixel nas bandas dos intervalos de comprimento de onda do visível azul, verde e vermelho, do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas são, respectivamente, {15, 25, 14, 115, 23}, eles poderiam ser rotulados à classe de vegetação, porque esses valores digitais são condizentes com o padrão de comportamento de refletância da vegetação.

Há vários métodos de classificação supervisionada por pixels, entre esses algoritmos estão Distância Mínima (Minimum Distance), Máxima Verossimilhança ou Probabilidade Máxima (Maximum Likelihood), Mapeador de Ângulo Espectral (Spectral Angle Mapper – SAM), Floresta Aleatória (Random Forest), Máquina de vetor de suporte (Support Vector Machine) e Modelo de Mistura Gaussiana (Gaussian Mixture Model).

O Random Forest é um algoritmo estatístico que tem como mecanismo de execução um conjunto de métodos que faz uso de “árvores de decisão”, “independentes e distribuídas de forma semelhante por vetores aleatórios segundo um padrão de entrada” conforme (BREMAM, 2001 apud MONTEIRO, 2015, p. 36). Já (GAIAD *et al.*, 2017, p. 1215) afirma que o algoritmo

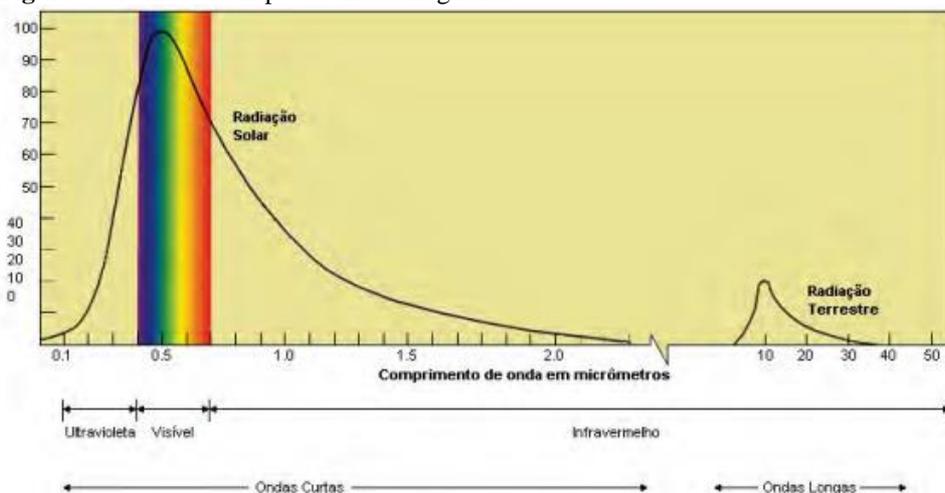
“tem como finalidade originar várias árvores de decisão por meio de conjuntos de atributos escolhidos de forma aleatória em relação ao conjunto original” e (BREIMAN, 2001 apud ALBUQUERQUE, 2019, p.22) define o algoritmo como “uma árvore de decisão que classifica uma instância baseada em variáveis decisórias seguindo o caminho da raiz até a folha”.

Esse algoritmo possui um conjunto de modelos baseado em árvores, onde as árvores são escolhidas de forma aleatórias. As variáveis disponibilizadas para os algoritmos são votadas pelas árvores para a classe que julga ser a correta e a classificação final dessa variável para uma das classes é definida pelo maior número de votos (MONTEIRO, 2015).

## 2.4 Temperatura de Superfície Terrestre

Todo objeto na superfície terrestre que emite ou reflete radiação eletromagnética, seja ela natural ou artificial, tem a faixa do termal possível de ser medida por sensores. Essa radiação se estende de 5  $\mu\text{m}$  a 1 mm, mas devido as absorções da atmosfera para o sensoriamento remoto somente da faixa espectral 8,0  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$  é utilizada pelos sensores. O espectro eletromagnético, figura 6, é dividido entre ondas curtas e ondas longas, as faixas do espectro refletido de 0,4  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$  são ondas curtas que tem como fonte de radiação o sol e o espectro emitido entre os intervalos de 8  $\mu\text{m}$  a 14, de ondas longas, a fonte de radiação é a terra (MENESES e ALMEIDA, 2012).

**Figura 6** - Faixas dos Espectro Eletromagnético



**Fonte:** Meneses e Almeida (2012)

Os objetos na superfície terrestre dependendo de sua cor, composição química, textura, umidade e entre outras características influenciam o comportamento da radiação solar, entre

elas a absorção e a reflexão. Em objetos onde a absorção é maior as taxas de emissão também são maiores e da reflectância são menores, isso significa que a quantidade de energia que um objeto emite no intervalo espectral do infravermelho é determinado pela temperatura do corpo (MENESES e ALMEIDA, 2012).

A temperatura segundo Meneses e Almeida (2012, p. 47) “temperatura é a medição do grau de movimento ou de agitação dos átomos e das moléculas de um corpo, conhecida também como temperatura cinética ou temperatura verdadeira”. Os corpos que indicam temperatura acima de zero absoluto emitem radiação eletromagnética, isso porque as moléculas começam a vibrar e se colidir e essa colisão muda o estado de energia para radiação eletromagnética que é emitida pelo alvo.

Um material ou alvo quando recebem radiação absorvem partículas ou fótons aumentando seu estado energético e conseqüentemente levando o material a um estado excitado, contudo, um material não pode permanecer em estado excitado por muito tempo tendo que retornar ao seu estado energético original. Sendo assim o material libera os fótons que foram recebidos em forma de ondas longas que são captados pelos sensores na faixa do infravermelho (MENESES e ALMEIDA, 2012).

O comportamento espectral da água por exemplo na faixa do infravermelho termal, possui uma reflectância baixa e emissividade alta, já um teto metálico de um imóvel possui uma alta reflectância e sua emissividade baixa. Nos materiais geológicos a composição química vai determinar em que faixa se obtém as melhores reflectância e emissividade (MENESES e ALMEIDA, 2012). No satélite Landsat-8 as bandas 10 e 11 são as bandas que comportam os intervalos espectrais de 10,6 a 12,52  $\mu\text{m}$ , faixa de espectros chamados de Infravermelho termal.

### **3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Essa pesquisa tem como método científico o hipotético-dedutivo que de acordo com Lakatos (2008, p. 110) “se inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese”.

Como aponta alguns estudos sobre a bacia, como o relatório de situação da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, Costa (2020), a paisagem dessa bacia apresenta uso e cobertura da terra marcadas por ações antrópicas, como as áreas de solo exposto, vegetações secundárias e áreas urbanas, tendo isso em vista é possível o entendimento, a hipótese, baseado na literatura da climatologia geográfica, de que essas áreas antropizadas apresentam maiores temperaturas em relação a áreas com vegetação mais densa. Assim faz-se necessário uma verificação por meio da correlação entre o mapeamento do uso da terra e da temperatura de superfície, seguindo as etapas dessa pesquisa a seguir.

O presente estudo foi desenvolvido a partir de três partes que nortearam o cumprimento dos objetivos proposto, entre eles estão o levantamento de referências na literatura para fornecer base teórica para reflexão das metodologias, resultados e discussões sobre o tema: a produção dos mapas de uso e cobertura da terra, mapa de temperatura e índices de vegetação e, por fim as análises estatísticas dos mapas confeccionados para uma melhor compreensão, análises e discussão dos dados gerados por essa pesquisa. A seguir os procedimentos metodológicos que foram utilizados durante todo o trabalho de forma detalhada.

#### **3.1 Localização e caracterização geográfica da área de estudo**

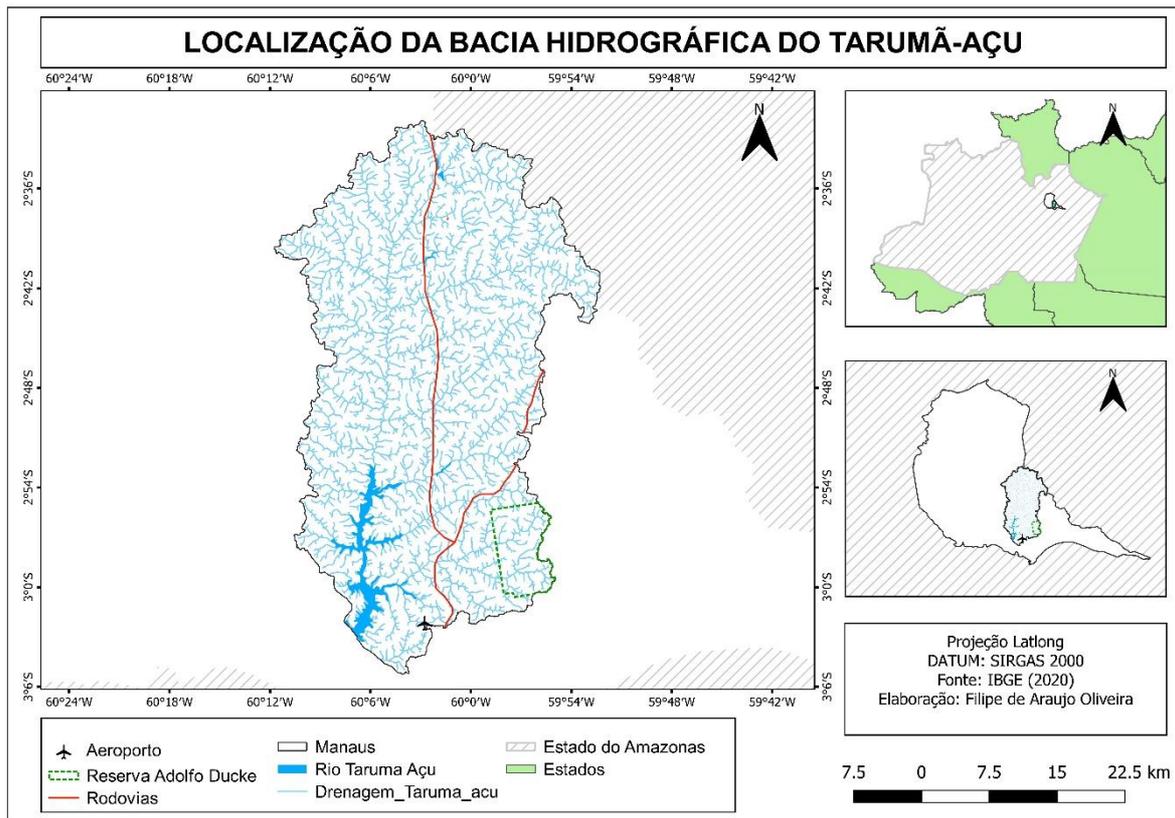
A Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu (BHTA) está localizada a oeste da cidade de Manaus – AM, figura 7, é uma bacia que compreende uma transição entre a área urbana da capital e a área rural, portanto classificada como periurbana (COSTA, 2020). A bacia possui o rio Tarumã – açu como o seu principal rio situado na margem esquerda do rio Negro.

Além da Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu, nos limites da capital amazonense, a cidade de Manaus possui 19 bacias no espaço urbano, algumas delas ultrapassam o sítio urbano chegando nas áreas rurais. Três bacias localizam-se ao oeste da cidade, nove bacias ao sul e sete bacias ao leste, dessas bacias destacam-se a Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu, a Bacia do São Raimundo, Bacia do Educando e a Bacia do Gigante (VIEIRA, 2008).

A BHTA abrange 12% do território do município de Manaus o que corresponde a aproximadamente mais de 1.350,00 km<sup>2</sup>, com o comprimento do canal principal de 42,105 km de uma bacia de 5º ordem, com altitude de máxima de 154 m e mínima de 2 m (COSTA 2013; COSTA 2020). Nessa bacia estão situados mais de 14 bairros com uma população estimada de 496.158 habitantes (CBHTA, 2018 apud COSTA, 2020).

O estudo realizado por Aguiar (1995) na cidade de Manaus na área urbana, define a temperatura média compensada anual para Manaus de 26,7° com média das máximas de 31°C e média das mínimas de 23,2°C, em que os meses com as médias mais elevadas são os meses de agosto, setembro, outubro e novembro. Já o mês mais chuvoso é março com média de 308,1 mm com uma média anual de 2.193,8 mm, chovendo em média 190 dias do ano (VIEIRA, 2008). A Cobertura vegetação que corresponde a cidade de Manaus é a Floresta Amazônica, classificada como floresta ombrófila densa (IBGE, 2012).

**Figura 7** - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu.



**Fonte:** IBGE (2020). **Elaboração:** Filipe de Araujo Oliveira.

### 3.2 Materiais

Para a elaboração do mapa base os dados vetoriais do formato *shapefile* dos limites da bacia hidrográfica, rede de drenagem e estradas foram obtidos no banco de dados do Grupo de Geotecnologias e Análise da Paisagem - GEOTAP e a simbolização ajustada no sistema de informação geográfica QGIS versão 3.10.7.

As imagens do satélite *Landsat-8* foram adquiridas no site da Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS (Earth Explorer). Foi adquirido as imagens da coleção 2 de nível 1 do dia 10 de agosto de 2015 e 26 de agosto de 2021, na órbita ponto 231/62 filtrado no site da USGS em relação a sua cobertura de nuvem. Foram baixadas para as duas imagens todas as suas bandas tanto do sensor OLI quanto do Sensor TIRS. O objetivo nas escolhas das imagens era adquirir uma imagem que fosse a mais antiga do Landsat-8, atendendo claro uma cobertura de nuvem para o local de estudo que não prejudicasse a análise, e uma imagem mais recente, assim, definindo o recorte de tempo da pesquisa do ano de 2015 e 2021.

### 3.3 Procedimentos dos Mapas de Uso e Cobertura da Terra

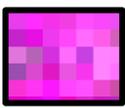
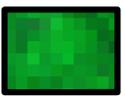
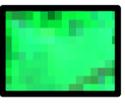
Todos os pré-processamento, processamentos e pós-processamentos da classificação supervisionada foram utilizando o Software QGIS 3.10.7. Inicialmente realizou-se a composição banda falsa cor (456RGB) das imagens do Landsat-8 do ano de 2015 e 2021. Utilizando a função miscelânea e mesclar da ferramenta raster. Essa composição de banda foi utilizada porque a vegetação sadia absorve no comprimento de onda do vermelho e reflete no comprimento de onda do infravermelho médio e próximo. Após a composição da imagem foi realizado o recorte para o limite da área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Tarumã Açu.

Com a imagem já na sua composição banda falsa cor e com a aplicação de contraste de luz é possível detectar as cores para cada tipo de uso e cobertura, por exemplo, para classe de vegetação arbórea dominante foi possível observar as cores verde escuro rugoso e verde escuro médio, na vegetação herbácea e arbustiva as cores verde claro liso e outras variações de verde aproximando para um azulado claro. O solo exposto apresenta cores do tipo rosa claro e escuro, azul, roxo e branco, na classe área urbana os pixels são heterogêneos apresentando pixels de todas as cores citados anteriormente, isso porque na área urbana em poucos metros quadrados há a presença de variados tipos de coberturas e usos da terra, mas havendo a predominância do rosa escuro e claro. E por fim, a classe da água com uma cor preta aproximando um pouco para um azul escuro como podemos ver no quadro 1.

A classificação supervisionada foi realizada pela ferramenta DZetsaka: Classification Tool, usando o algoritmo Random Forest. Na classificação supervisionada é necessária colher amostras da imagem que se deseja trabalhar de acordo com o objetivo de estudo para o treinamento do algoritmo. Essas amostras foram: (1) classe de vegetação arbórea dominante, (2) classe de vegetação herbácea e arbustiva, (3) classe de solo exposto, (4) classe de área urbana e (5) classe da água. Essas classes e simbologia de cores foram adaptadas de acordo com manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013), quadro 1.

Depois da classificação supervisionada realizou-se a inspeção visual com a imagem da composição falsa cor e imagem do Google Earth, sendo possível detectar uma confusão do algoritmo na classificação dos pixels para com as classes do solo exposto e área urbana. Para resolução desse problema utilizou um complemento denominado ThRase – Thematic Raster Editor, nessa ferramenta é possível mudar os pixels de classe, e assim foi realizada a mudança de forma manual colando os pixels da área urbana em que era a classe de área urbana e os pixels do solo exposto na classe de solo exposto.

**Quadro 1** - Classes e Simbologia (legenda) do uso e cobertura da Terra da BHTA.

Classes	Legenda	Características
<b>Área Urbanizada</b>		Vila, cidades, complexos industriais, áreas urbanas industrial e outras.
<b>Arbórea Dominante</b>		Formação Arbórea com porte superior a 5 metros e Vegetação em estágio avançado de sucessão ecológica.
<b>Herbácea e Arbustiva</b>		Vegetação não florestal com estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Compreendendo diferentes tipologias não florestais, naturais ou antropizadas como Campinarana arbustiva, formações herbácea-arbustiva, pastagens, áreas agrícolas, primárias: savanas, estepes planaltinas e outros.
<b>Água</b>		Incluem todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais, corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento e reservatórios, além das lagoas costeiras ou lagoas, estuários e baías.
<b>Solo Exposto</b>		Áreas de praias, dunas, leitos de canais de fluxo com regime torrencial; dunas com vegetação esparsa ou sem vegetação, áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal; áreas cobertas por rocha nua exposta.

**Fonte:** Adaptado do IBGE (2013). **Elaboração:** Filipe de Araujo Oliveira.

Após a classificação foi realizada a última etapa das classificações da imagem de 2015 e 2021 da BHTA que é validação dos resultados por meio de algoritmo de acurácia. Um resultado com 100% de acurácia resulta em que todos os pixels estão classificados de forma correta, os índices que calculam a partir de matrizes de erros concordam entre as amostras e a imagem classificada (MENESES e ALMEIDA, 2012). Entre os índices de acurácia foi utilizado para essa pesquisa foi o índice Kappa (K), que varia de 0 a 1, em que 0 diz respeito a uma classificação de concordância nula e o 1 de concordância perfeita. No QGIS 3.10.7 para realizar a acurácia com índice Kappa (K) foi utilizado uma função do Grass, o *r.kappa* que resultou no índice Kappa de 0,701, que de acordo com Landis e Koch (1977 apud VALE, 2018) o índice de intervalo entre 0,61 a 0,80 é de qualidade de acurácia classificada como muito boa.

### **3.4 Procedimentos do Índice de Vegetação NDVI**

Um dos índices de vegetação mais utilizado nas pesquisas com dados espectrais para o monitoramento das alterações físicas da área de estudo relacionando cobertura vegetal é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizado - NDVI (LIU, 2017; GUILHERME *et al.*, 2020). O NDVI índice assinala a quantificação e o vigor da vegetação, nesse índice se os pixels indicam alto valor de brilho compreende-se que aquela área é coberta por uma porção de vegetação saudável (AIRES e BEZERRA, 2021). Além de analisar a vegetação de determinada área a sua aplicação permite visualizar as variações sazonais e anuais da vegetação (JENSEN, 2009).

O NDVI é um dos índices sensível a quantidade e condições da vegetação, sendo sensível à clorofila e outros pigmentos que capturam a radiação solar. Seus valores variam entre o intervalo de -1 a 1, nas superfícies que contém corpos d'água tende a um intervalo menor que 0 (RISSO, 2009 e LIMA *et al.*, 2017).

As bandas utilizadas para o NDVI são as bandas do infravermelho próximo (B5) e banda do vermelho (B4). Essas bandas são escolhidas por esse índice por motivos que a medida que aumenta a quantidade de vegetação verde o infravermelho próximo reflete mais energia enquanto na banda do vermelho essa reflexão diminui, assim, potencializando a razão e realçando a vegetação (NOVO, 1998 apud MELO *et al.*, 2011).

Para realização do cálculo do índice NDVI é preciso que antes segundo Eduvirgem (*et al.*, 2019) haja uma correção atmosférica nas bandas 4 e 5 do Landsat – 8, essa correção diz respeito sobre a conversão de números digitais diretamente para reflectância planetária no topo

da atmosfera para imagens ou produtos de nível 1 da USGS, por meio da equação 1, disponibilizada pela (USGS, 2019). Para o processamento dessa equação e das demais em relação ao NDVI foi usada a ferramenta do QGIS 3.10.7, a calculadora raster.

$$\text{Equação 1: } \rho\lambda' = M\rho * Q_{cal} + A\rho$$

Em que:

$\rho\lambda'$  = reflectância espectral planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

$M\rho$  = (0.00002) fator de escala multiplicativo de reflectância para a banda (REFLECTANCEW\_MULTI\_BAND\_N dos metadados);

$A\rho$  = (-0.1) o fator de escala aditivo de reflectância para banda (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_N dos metadados);

$Q_{cal}$  = (banda que foi convertida) Valor de pixel de nível 1 em DN

Além da conversão para reflectância planetária no topo da atmosfera é necessário corrigir essa reflectância para o ângulo zenital, utilizando a equação que também está presente no manual dos usuários de dados do Landsat – 8, (USGS, 2019).

$$\text{Equação 2: } \rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta_{SZ}) = \rho\lambda' / \sin(\theta_{SE})$$

Em que:

$\rho\lambda$  = é a reflectância planetária, com correção do ângulo zenital;

$\theta_{SE}$  = é o ângulo de elevação solar local, o ângulo de elevação do centro da cena em graus se faz presente no MTL file;

$\theta_{SZ}$  = é o ângulo zenital solar local,  $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

Enfim, pode ser realizado o NDVI da imagem Landsat – 8, utilizando as bandas 4 e 5 foi realizada a razão entre a diferenças e somas entre as bandas do vermelho e do Infravermelho médio como pode ser visto na equação 3.

$$\text{Equação 3: } \text{NDVI} = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

Em que:

B4 = Banda do vermelho

B5 = Banda do infravermelho médio;

### 3.5 Procedimentos do Índice de Vegetação SAVI

O Índice de Vegetação Ajustado para o Solo – SAVI foi criado por Huete (1988) que desenvolveu o índice com o intuito de resolver uma desvantagem que o índice NDVI possui em relação ao SAVI que é o fato do NDVI ser influenciado pelo brilho e pelo efeito espectral do solo na caracterização do dossel das plantas de acordo com Elmore *et al.* (2000 apud DEMARCHI *et al.* 2011). Antes da aplicação do cálculo para confecção do SAVI, é preciso que as banda 4 e 5 do Landsat-8 passe pelo processo de conversão para reflectância planetária no topo da atmosfera como visto anteriormente na equação 1 e a correção da reflectância para o ângulo zenital visto também anteriormente na equação 2.

A equação 4 é definida por Huete (1988), sendo utilizada a calculadora raster do QGIS 3.10.7 para o processamento da equação:

$$\text{Equação 4:} \quad \text{SAVI} = ((\mathbf{B5} - \mathbf{B4}) / (\mathbf{B5} + \mathbf{B4} + \mathbf{L})) * (\mathbf{1} + \mathbf{L})$$

A banda 5 (B5) é a banda do infravermelho médio e a banda 4 (B4) é a banda do vermelho e o fator L é o fator de ajuste. Esse fator de ajuste pode variar de acordo com a densidade do substrato do dossel da vegetação, sendo 0,25 para cobertura de densidade vegetal de alta, 0,5 para cobertura vegetal de densidade intermediária e 1,0 cobertura vegetal de densidade baixa. E quando esse valor de L for igual a zero o índice SAVI será equivalente ao índice NDVI (HUETE, 1988).

Para essa pesquisa foi utilizada o fator de ajuste 0,25 já que o tipo de vegetação que se localizada na Bacia Hidrográfica do Tarumã – Açu se caracteriza predominantemente por uma vegetação, segundo o IBGE (2012) vegetação ombrófila densa.

### 3.6 Procedimentos da Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Para a elaboração do mapa de Temperatura de Superfície Terrestre foram utilizados para a área de estudo a banda 10, o infravermelho termal, do Landsat-8, fazendo o processamento no QGIS 3.10.7 onde o primeiro passo foi fazer a correção atmosférica, segundo a conversão de números digitais para temperatura de brilho no satélite, terceiro a reclassificação do uso e cobertura da terra para valores de emissividade (e), todos esses passos realizados por meio do complemento chamado Semi-Automatic Classification Plugin – SCP e quarto e último passo a estimativa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) utilizando a equação de Weng (2004) na calculadora raster do QGIS.

#### 3.6.1 Correção Atmosférica por meio do DOS1

O nome da correção atmosférica que o complemento SCP utiliza é o Dark Object Subtraction – DOS1. Segundo Chavez (1996 apud CONGEDO, 2021, p. 151) o DOS1 é um tipo de correção atmosférica que faz parte de uma família de correções baseadas em imagem, que a ideia básica é que dentro das imagens hajam “pixels na sombra completa e sua radiância recebida no satélite são devido ao espalhamento atmosférico (radiância do caminho)”. Nesse algoritmo chamado DOS1 é realizado a conversão de números digitais para reflectância do topo da atmosfera, esse processo é o mesmo da equação 1 visto na correção atmosférica do NDVI, só que agora utilizando uma metodologia diferente mas que tem o intuito de chegar ao mesmo propósito de correção atmosférica. Assim a metodologia da equação que processa o algoritmo DOS1 (SOBRINO, 2004 apud CONGEDO, 2021) é:

$$\text{Equação 5:} \quad L_p = L_{\min} - LDO1\%$$

Em que:

$L_{\min}$  = radiância que corresponde a um valor de contagem digital para qual a soma de todos os pixels com contagem inferior ou iguais a este valor é igual a 0,01% de todos os pixels da imagem considerada;

$LDO1\%$  = radiância do objeto escuro, assumida como tendo um valor ou reflectância de 0,01.

A equação 5 ela se desdobra de outras duas equações, a equação 6 e a 7:

Equação 6: 
$$L_{min} = ML * DN_{min} + AL$$

Equação 7: 
$$LDO1\% = 0.01 * [(ESUN\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Ou seja, toda equação 5 é união das equações 6 e 7:

Equação 5:

$$L_p = ML * DN_{min} + AL - 0.01 * [(ESUN\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

### 3.6.2 Conversão dos números digitais em Temperatura de brilho no Satélite

Na correção atmosférica é realizada a conversão de números digitais – ND para temperatura de brilho no satélite, também utilizando o SCP, o *plug-in* processa esse passo de acordo com a equação 8 (USGS, 2019; CONGEDO, 2021).

Equação 8: 
$$TB = K2 / \ln[(K1/L\lambda) + 1]$$

Em que:

TB = Temperatura de brilho no satélite (K);

K1 = Constante de conversão térmica específica da banda dos metadados (K1\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda térmica);

K2 = Constante de conversão térmica específica da banda dos metadados (K2\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda térmica);

$L\lambda = e L\lambda$  é a radiância espectral na abertura do sensor, medida em watts/(metro quadrado \* srad\*  $\mu m$ ).

### 3.6.3 Reclassificação do uso e cobertura da terra para valores de emissividade (e)

Após a correção atmosférica foi realizado no SCP utilizando a metodologia de Weng (2004) em que há a classificação supervisionada do uso e cobertura da terra para definição da emissividade. Com as bandas 456 foi realizada a classificação supervisionada e depois a

reclassificação para valores de emissividade (e) da superfície da terra de cada classe, na opção do SCP em Postprocessing > Reclassification. Para a reclassificação foi usado para cada classe as taxas de emissividade de Kaiser *et al.* (2019), para vegetação arbórea dominante 0,973, vegetação herbácea e arbustiva 0,970, solo exposto 0,968, área urbana 0,966 e corpos d'águas 0,966.

### 3.6.4 Estimativa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

4. Na estimativa de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) foi empregada a equação 9 proposta por Weng (2004 apud CONGEDO, 2021) para a aquisição do mapa de TST. Na calculadora raster usa-se a seguinte equação:

Equação 9: 
$$T = TB / [1 + (\lambda * TB / c2) * \ln(e)]$$

Em que:

TB: banda convertida dos números digitais em temperatura de brilho no satélite;

$\lambda$  = (10.8) comprimento de onda da radiação emitida;

$c2 = h * c / s = 1,4388 * 10^{-2} \text{ m k} = (14388 \text{ } \mu\text{m k})$

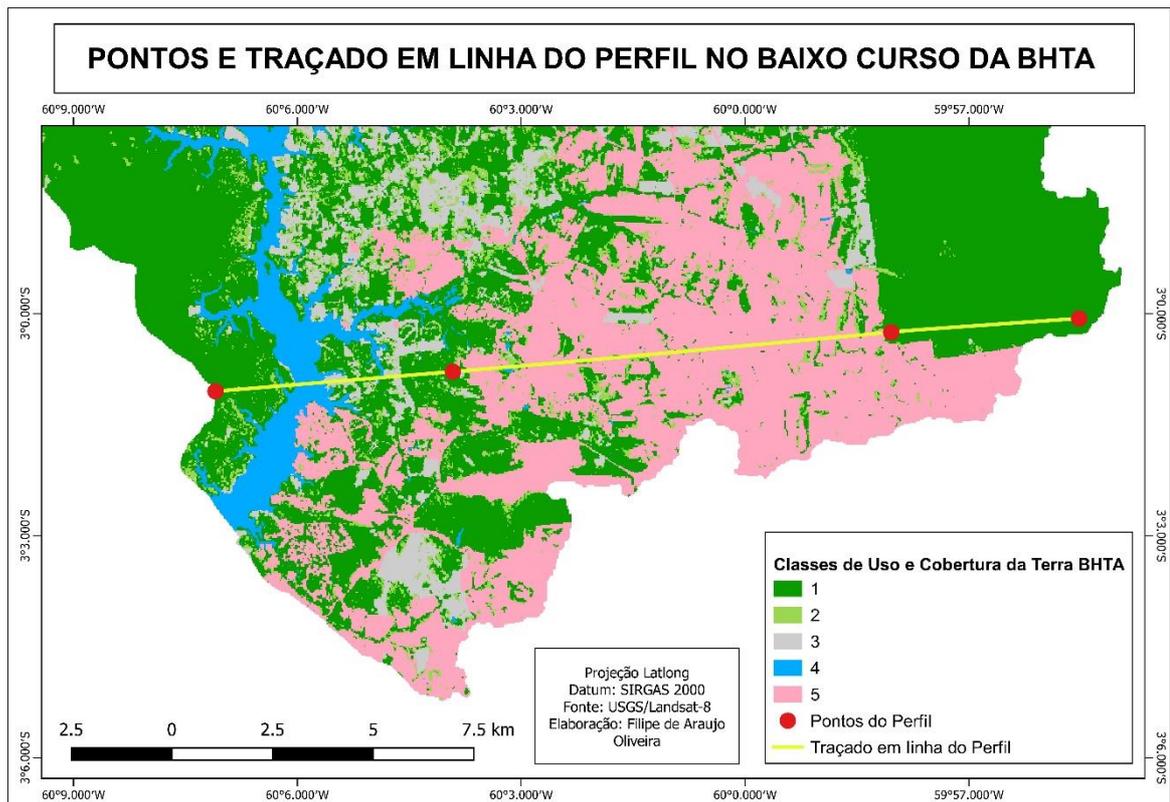
$\ln(e)$  = (banda reclassificada para taxas de emissividade) logaritmo da emissividade das classes de uso e cobertura da terra.

### 3.6.5 Estatística, sistematização e tabulação dos dados

A partir da produção de todos os mapas, mapa de uso e cobertura da terra, mapa de NDVI, mapa do SAVI e Mapa de estimativa de Temperatura de Superfície Terrestre foram realizadas estatísticas no QGIS entre elas estatísticas zonais em que o usuário fornece um vetor ou um raster contendo a zona de interesse para realização de estatísticas como média, mínima, máxima, desvio padrão e entre outras estatísticas sobre um raster. Houve também o uso da ferramenta r.report que permite ao usuário um relatório com as extensões da área de cada classe do raster. A calculadora de campo usadas na tabela de atributo de cada camada foi outra ferramenta utilizada sendo possível realizar diversos cálculos matemáticos. Já o complemento *Profile Tool* que contém a função *Terrain Profile* foi aplicado para produção dos perfis, figura 8, de comparação entre os índices de vegetação e a estimativa de Temperatura de Superfície

Terrestre. As coordenadas geográficas dos pontos do perfil, ponto 1: longitude  $60^{\circ}7'4.800''$  W e latitude  $3^{\circ}1'1.200''$  S, ponto 2:  $60^{\circ}3'54.000''$  W e  $3^{\circ}0'46.800''$  S, ponto 3:  $59^{\circ}58'1.200''$  W e  $3^{\circ}0'14.400''$  S e ponto 4:  $59^{\circ}55'30.000''$  W e  $3^{\circ}0'3.600''$  S. A sistematização e tabulação dos dados extraídos dos mapas foram executáveis pelo software Excel, nele houve a confecção de tabelas e gráficos para as análises e discussões do resultado.

**Figura 8** - Localização do Traçado do perfil da margem direita para margem esquerda do baixo curso da BHTA.



Elaboração: Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Tarumã Açú

A paisagem da bacia hidrográfica do Tarumã - Açú (BHTA) é composta de (1030,5 km<sup>2</sup>) 75,07% no ano de 2015 e de (1022,68 km<sup>2</sup>) 74,50% em 2021 de cobertura vegetal, figura 9 e 10, classificada para essa área de estudo como vegetação arbórea dominante. Outros tipos de cobertura vegetal que compõe a BHTA são vegetações arbustiva arbórea, herbácea arbustiva e vegetação de desmatamento com (138,38 km<sup>2</sup>) 10,08% para o ano de 2015 e (135,01 km<sup>2</sup>) 9,84% para 2021, classe denominada para esse estudo como vegetação herbácea e arbustiva. O solo exposto é a terceira classe da BHTA com maior predominância na paisagem correspondendo a (99,84 km<sup>2</sup>) 7,27% em 2015 e (110,76 km<sup>2</sup>) 8,07 % em 2021. Já a área urbana compreende (78,72 km<sup>2</sup>) 5,73% em 2015 e (80,36 km<sup>2</sup>) 5,85% em 2021 e por fim a classe da água compõe (25,29 km<sup>2</sup>) 1,84% em 2015 e (23,88 km<sup>2</sup>) 1,74%, figura 11a e 11b.

A cobertura vegetal da classe arbórea dominante diminui sua área de paisagem na BHTA do ano de 2015 para 2021 em torno de (7,78 km<sup>2</sup>) 0,57 %. Essa diminuição no percentual acontece também com a classe de vegetação herbácea e arbustiva com (3,37 km<sup>2</sup>) 0,24% e com a classe da água (1,41 km<sup>2</sup>) 0,1%. Já as classes de solo exposto e área urbana tiveram um crescimento comparando os dois anos, o solo exposto com um aumento de (10,92 km<sup>2</sup>) 0,8% e a área urbana com (1,64 km<sup>2</sup>) 0,12%.

Figura 10 - Uso e Cobertura da Terra da BHTA – 2015

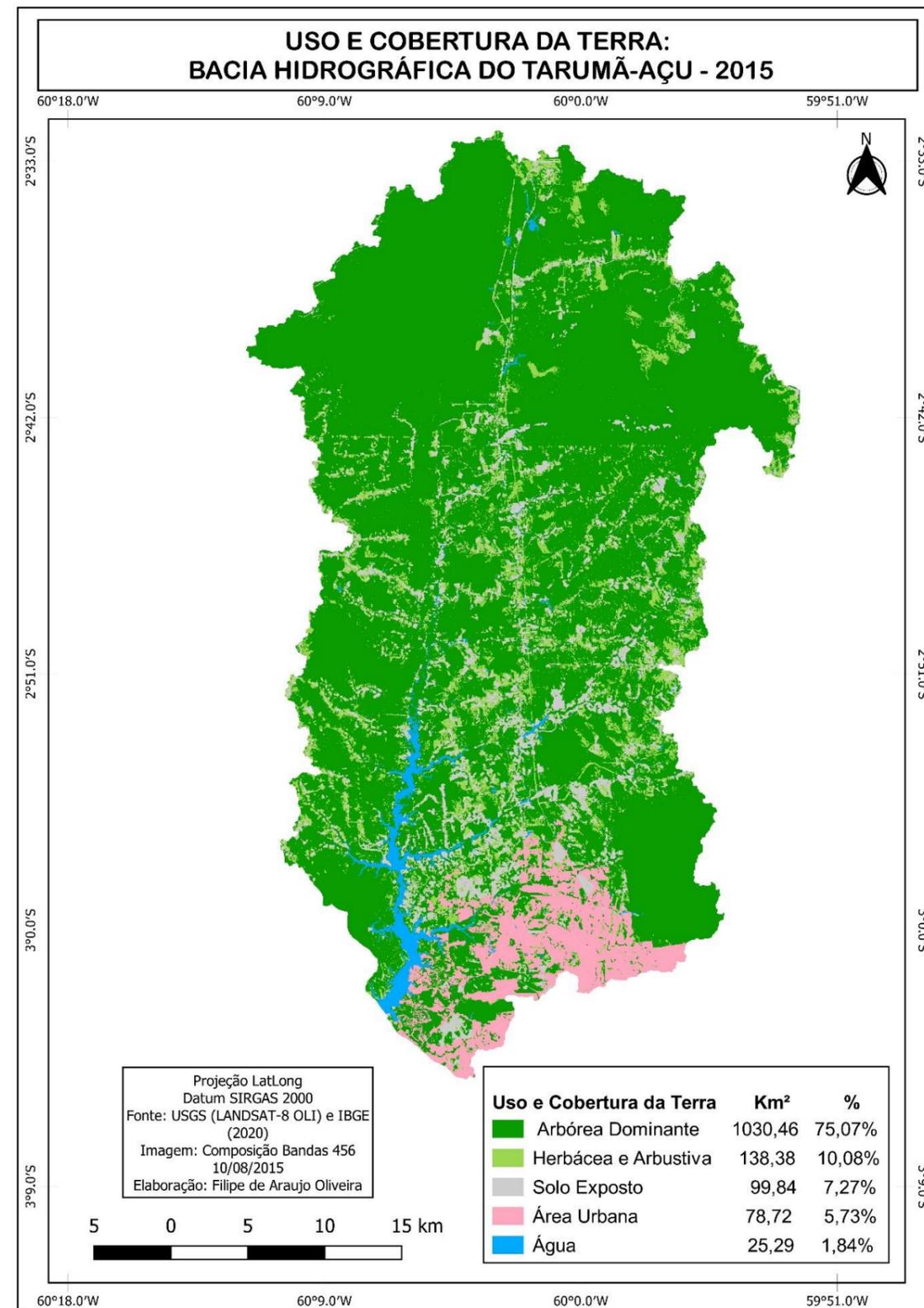
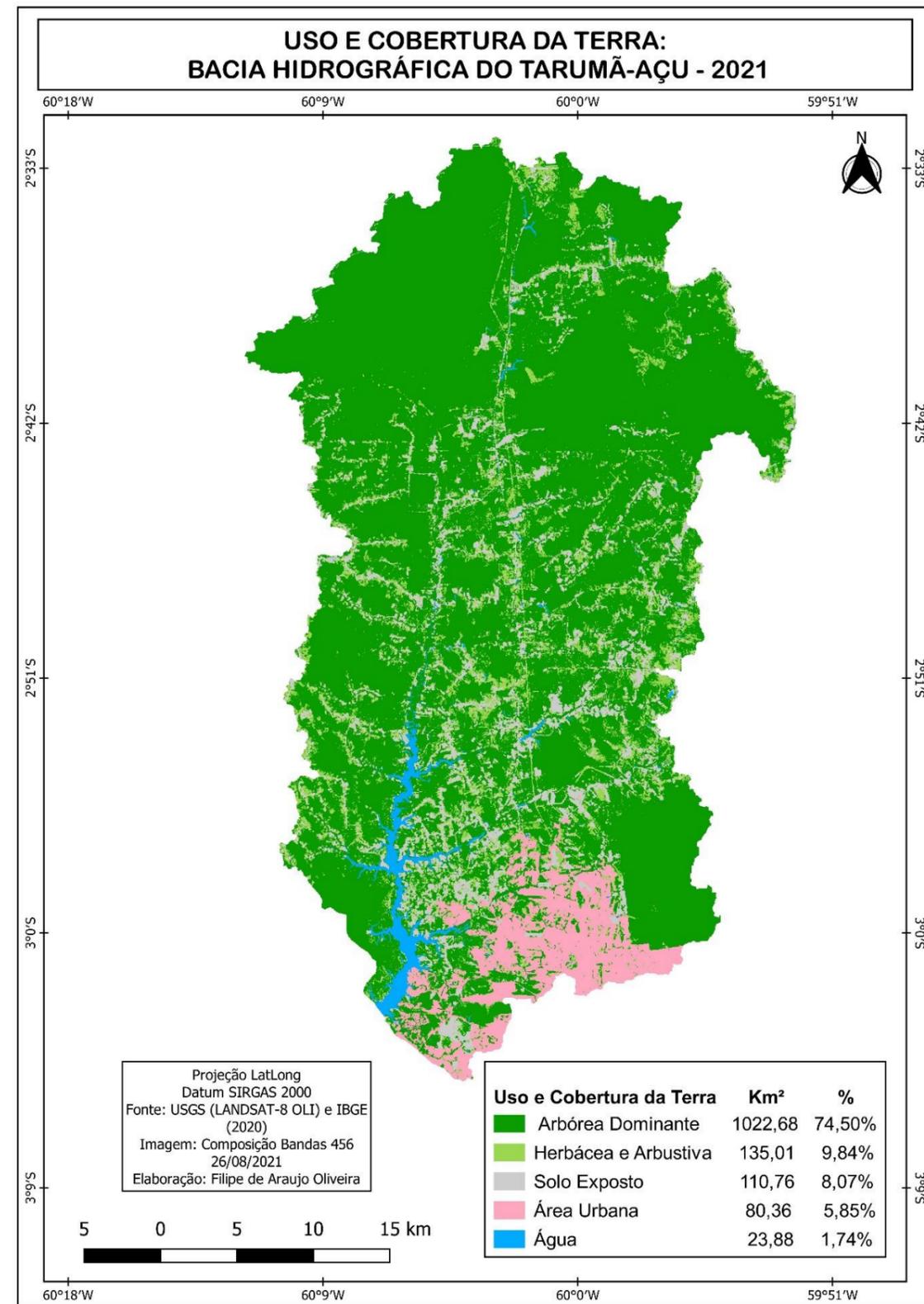
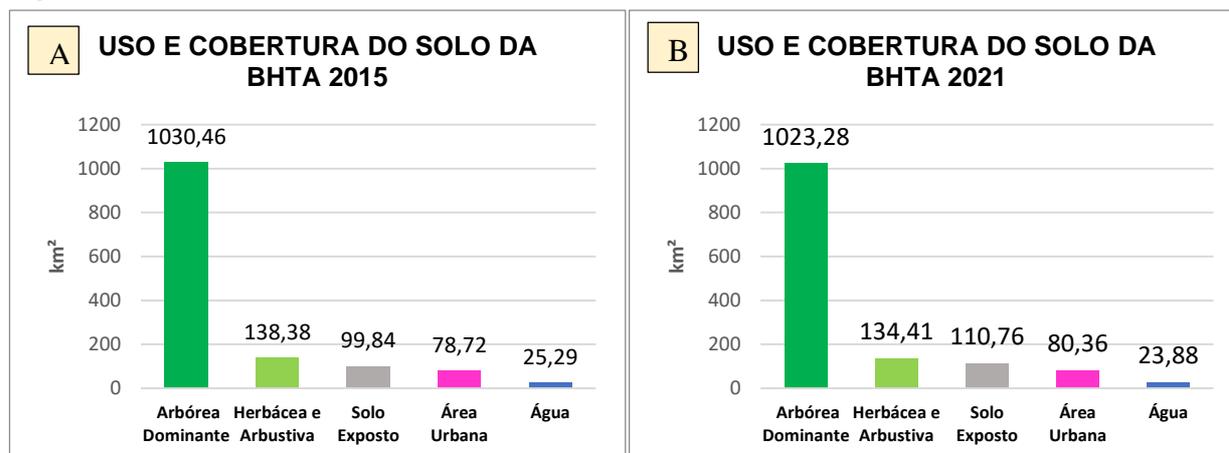


Figura 9 - Uso e Cobertura da Terra da BHTA - 2021



**Figura 11** - Gráfico do Uso e Cobertura do Solo da BHTA : (A) BHTA 2015; (B) BHTA 2021

**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

A bacia hidrográfica do Tarumã Açú é dividida em três segmentos, denominados cursos, alto curso, médio curso e baixo curso. Nesse capítulo podemos comparar entre os cursos da bacia as presenças das classes de uso e cobertura da BHTA, figura 12. A classe de vegetação arbórea dominante por exemplo predomina no alto curso da BHTA representando 33,12% do total de 75,07% de toda bacia no ano de 2015 e 33,05% do total de 74,55% em 2021. Nos demais cursos da bacia o percentual da vegetação arbórea dominante representa 19,85% em 2015, 19,83% em 2021 no médio curso e 22,09% em 2015, 21,61% em 2021 no baixo curso. Nos três cursos ocorrem a diminuição das áreas de vegetação arbórea do ano de 2015 para 2022.

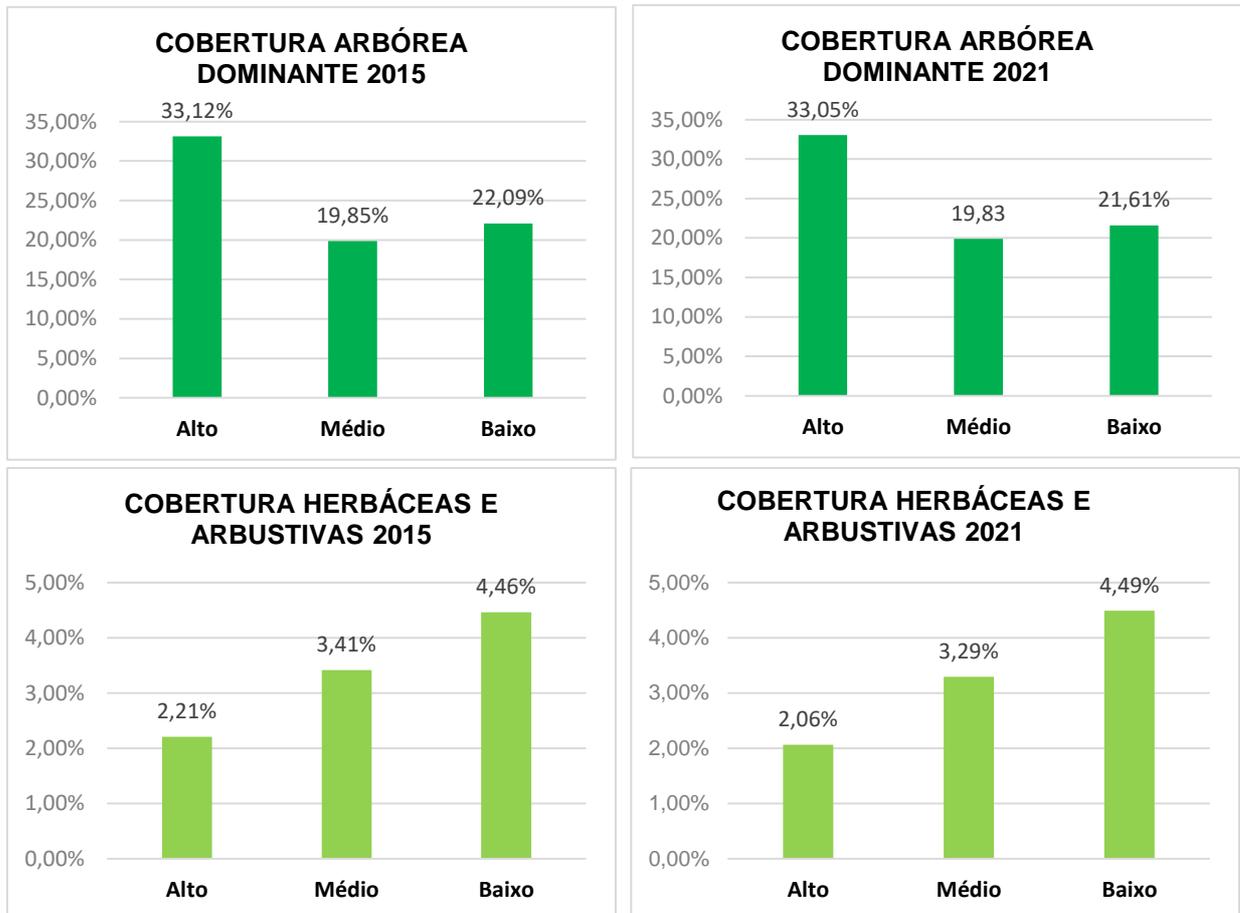
Nos mapas é possível observar que mesmo com uma porcentagem com mais de 74% de área de vegetação arbórea dominante é possível localizar somente duas grandes manchas de vegetação da classe arbórea dominante conectadas sem nenhuma descontinuidade seja por solo exposto ou áreas de vegetação herbácea e arbustiva que se encontram no alto curso e na reserva florestal Adolpho.

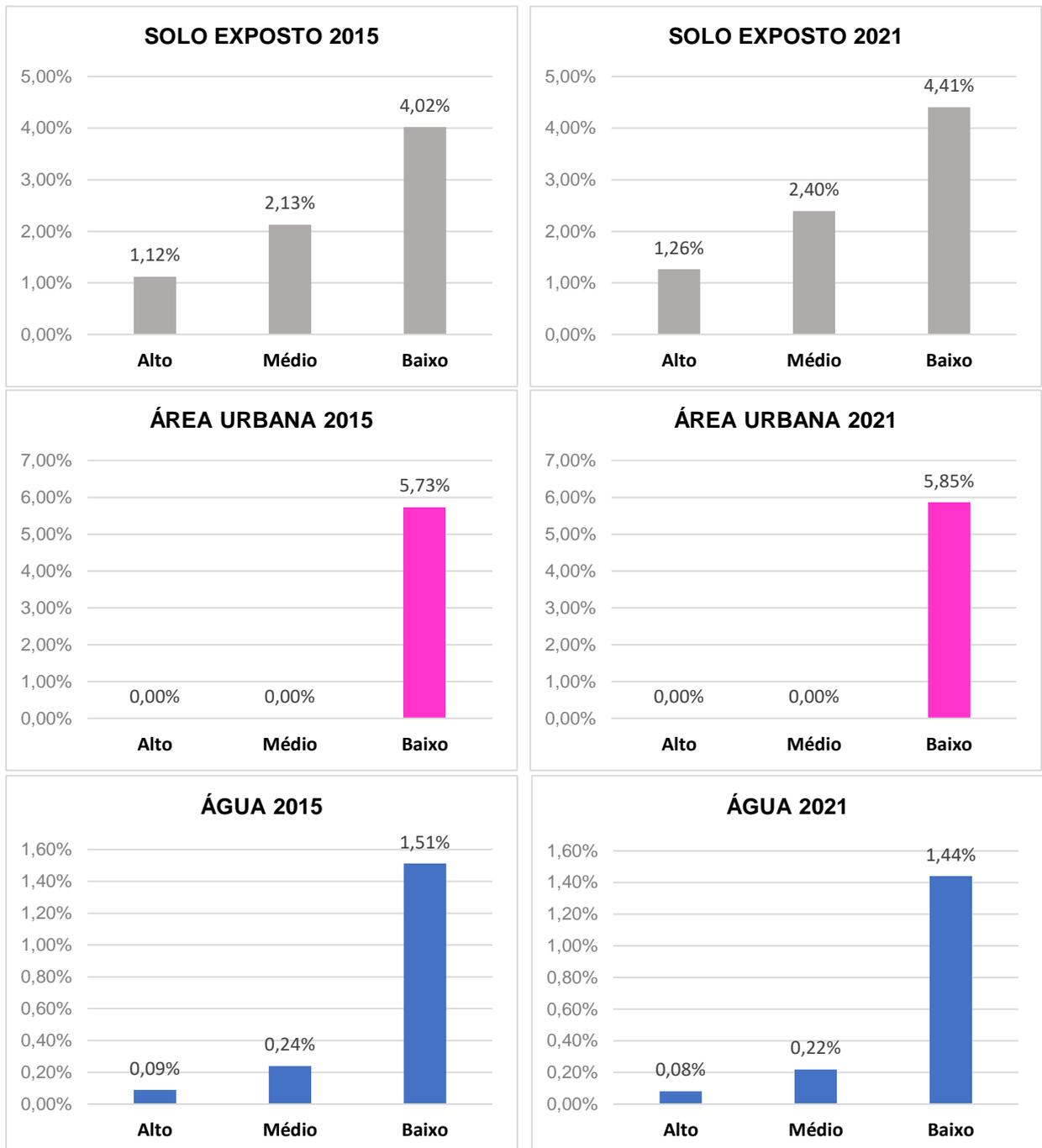
A classe herbácea e arbustiva tem maior presença no baixo curso com 4,46% do total de 10,08% de toda a bacia no ano de 2015 e 4,49% do total de 9,79% no ano de 2021. No médio curso o percentual da classe é de 3,41% no ano de 2015 e 3,29% em 2021 e no alto curso a presença da classe é de 2,21% em 2015 e 2,06% em 2021. Assim houve um aumento das áreas herbácea e arbustiva no baixo curso e decréscimo no alto e médio curso nos dois anos.

O solo exposto tem o maior percentual de área no baixo curso da bacia com 4,02% do total de 7,27% em 2015 e 4,41% do total de 8,7% em 2021. No médio curso o percentual solo exposto cai atingindo 2,13% da bacia em 2015 e 2,40% em 2021. E no alto curso esse percentual recua ainda mais com 1,12% em 2015 e 1,26% em 2015. Nos dois anos de estudo ocorre o aumento de solo exposto em todos os cursos da bacia.

A área urbana é a única classe que se localiza apenas em um dos três cursos da bacia, o baixo curso. Representando 5,73% no ano de 2015 e 5,85% em 2021, ocorreu o crescimento nesse intervalo de tempo. A classe da água é a menor área em termo de extensão da BHTA, que está presente nos três cursos da bacia com 1,51% da sua área no baixo curso no ano de 2015 e 1,44% em 2021. No médio curso compreende a 0,24% em 2015, 0,22% em 2021 e no alto curso 0,09% em 2015, 0,08% em 2021.

**Figura 12** - Gráficos das Classes de uso e cobertura do solo nos cursos da BHTA





**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

A partir dos dados da classificação do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Tarumã - Açu podemos observar impactos antrópicos na bacia a partir da diminuição nos percentuais de vegetação, o aumento do solo exposto e da área urbana. Essas ações antrópicas advêm da expansão urbana da cidade de Manaus com um vetor de crescimento apontado para o norte da bacia que conseqüentemente começa com todo o processo de ocupação que é a criação de rodovias, ramais e vicinais e proporciona a expansão de atividade econômicas como

a agropecuária, mineração, extração de madeira. Na BHTA estão localizadas rodovias, uma corta a bacia de forma longitudinal que é o caso da BR-174, Manaus – Boa vista, e AM-010 que interliga Manaus e Itacoatiara. Com essas vias disponíveis o acesso para ocupação, desflorestamento e extração de outros recursos é facilitado, colocando em risco a vegetação ciliar de áreas de preservação permanentes (APPs) e outros recursos naturais presentes na bacia (COSTA, 2020).

O crescimento demográfico atingido por Manaus destaque-se pelo crescimento populacional desde o ano de 1960, ano de criação da “zona de livre comércio e o polo industrial, com generosos incentivos fiscais, possibilitando assim a instalação de diversas empresas multinacionais, [...]. A continua chegada de imigrantes de todas as regiões brasileiras” (SOUZA, 2015, p. 27). Esse crescimento populacional da cidade de Manaus se dá desde a década de 60 e é, hoje, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010), a 7º capital mais populosa do país, saindo de 1.802.014 milhões de habitantes, entre os anos de 1960 a 2010, para um crescimento estimado de mais de 25%, entre os anos de 2010 a 2021, totalizando 2.255.903 milhões de habitantes. Além disso, ocupa o 8º lugar entre os municípios com o maior PIB do país (IBGE, 2021).

Na BHTA se localiza o aeroporto internacional Eduardo Gomes, Condomínios residenciais e 14 bairros, essas ocupações e convivências dos espaços na bacia do BHTA é resultado do processo de reorganização do espaço na cidade de Manaus, o crescimento da cidade em direção a zonas rurais, como podem ser vistos nos mapas de uso e ocupação da terra, diz respeito tanto a migração das populações do interior do estado e de outras regiões do país para capital quanto o crescimento das pessoas que moram na área urbana da cidade e buscam lazer, figura 15a, ou residência, figura 15b, com a construção de condomínios na área rural da cidade (VASCONCELOS, 2019).

Ao aumentar a escala de análise podemos observar que o baixo curso é o curso da BHTA que mais sofreu impactos antrópicos em seu meio ambiente possuindo uma área total de 518,9 km<sup>2</sup>, do 100% da vegetação desse curso apenas 57,18% é classificada como 11,87% herbácea e arbustiva para o ano de 2021, figura 13 e 14. No baixo curso se faz presente tanto a totalidade da classe área urbana como já explanado anteriormente sobre como acontece sua ocupação e organização ao longo da BHTA quanto os 70% das atividades de mineração da bacia (COSTA, 2020).

Figura 14 - Mapa dos Cursos da BHTA do Uso e Cobertura da Terra 2015

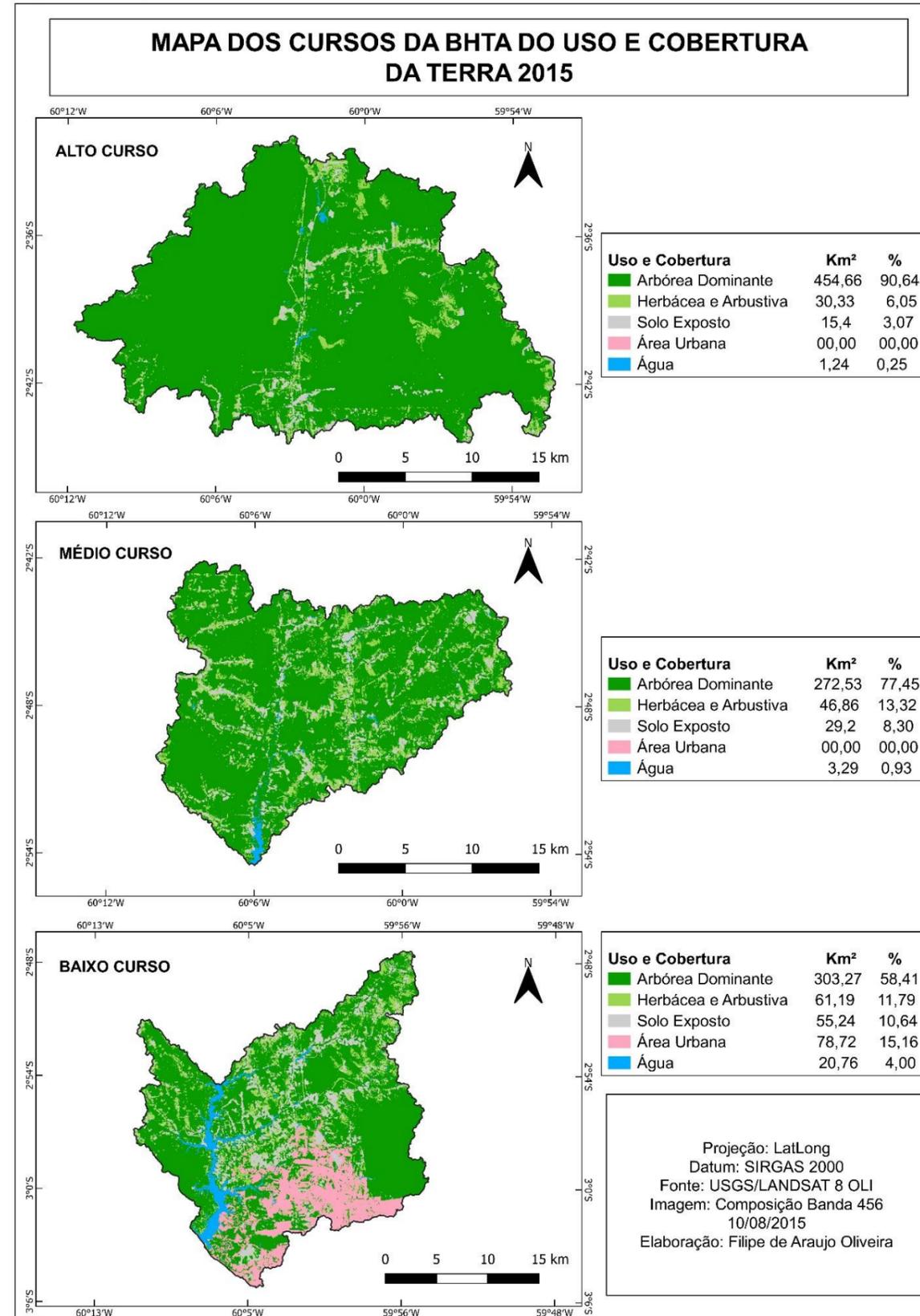
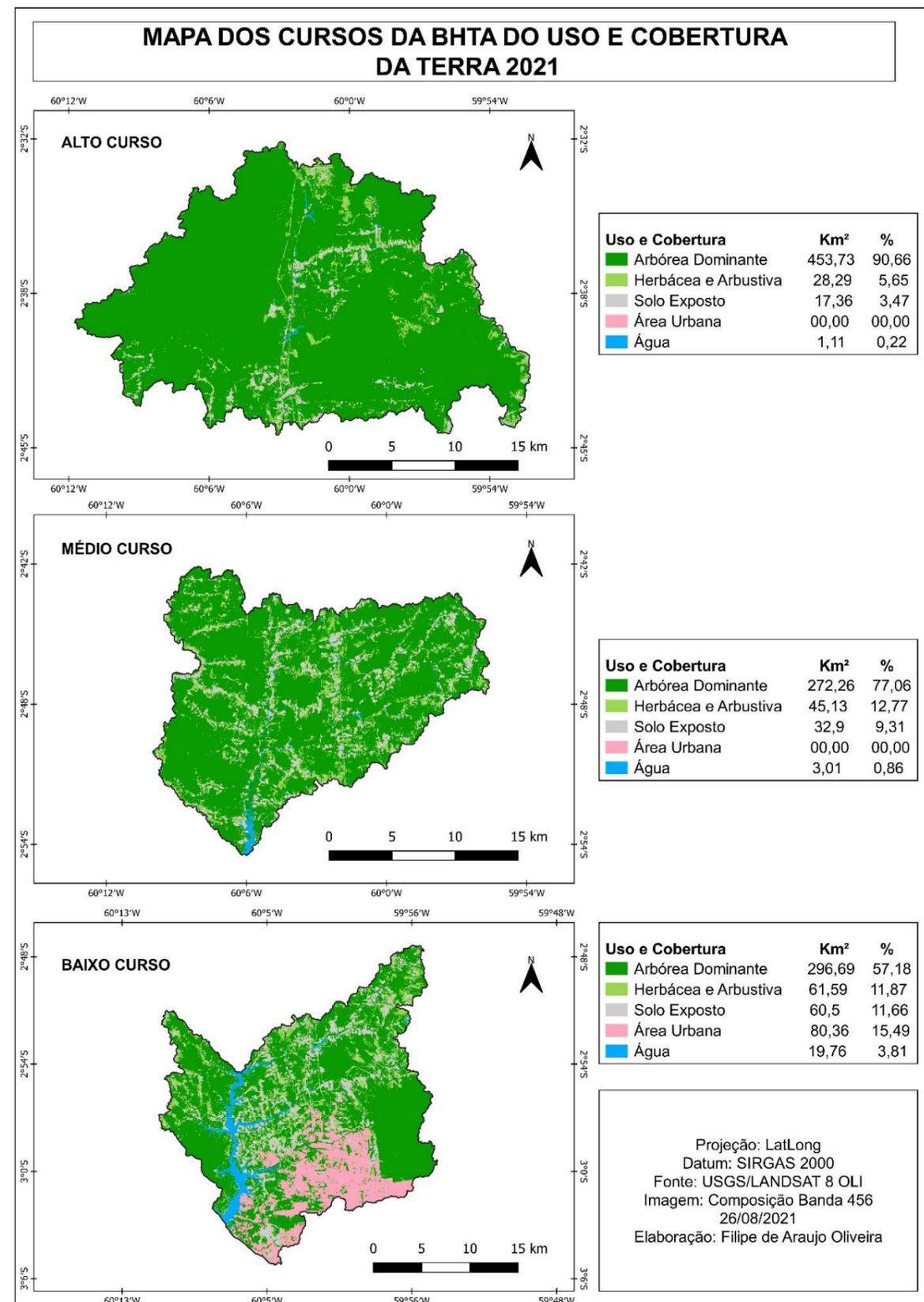


Figura 13 - Mapa dos Cursos da BHTA do Uso e Cobertura da Terra 2021



**Figura 15** - A margem do Rio Tarumã – Açu: (A) Hotel de Turismo; (B) Residência



**Fonte:** Grupo de Pesquisa GeoTap (2020).

O médio curso teve uma extensão de 353,3 km<sup>2</sup> com 77,06% da cobertura vegetal arbórea dominante e 12,77% da herbácea e arbustiva em 2021, onde segundo Costa *et al.* (2021) em razão da sua perda vegetal se assemelha com o baixo curso no que se refere as classes de solo exposto e herbácea e arbustiva resultado da abertura de ramais, vacinais, agropecuária, figura 16a, balneários, figura 16b, extração ilegais de madeiras e as comunidades que integram o assentamento Tarumã-Mirim, assentamento esse criado no ano de 1992 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA a margem direita da bacia onde praticam à agricultura familiar. Na margem direita da bacia há uma sobreposição entre o assentamento Tarumã-Mirim e a Área de Proteção Ambiental Setor Tarumã-Açu/Tarumã-Mirim (APAME) e Área de Proteção Ambiental Tarumã/Ponta Negra (APATP), havendo perda de 12,91% da cobertura vegetal da APAME entre 1990 e 2009 (COSTA, 2020; COSTA, 2021).

**Figura 16** - (A) Criação de Gado na BHTA. (B) Balneário na BHTA.

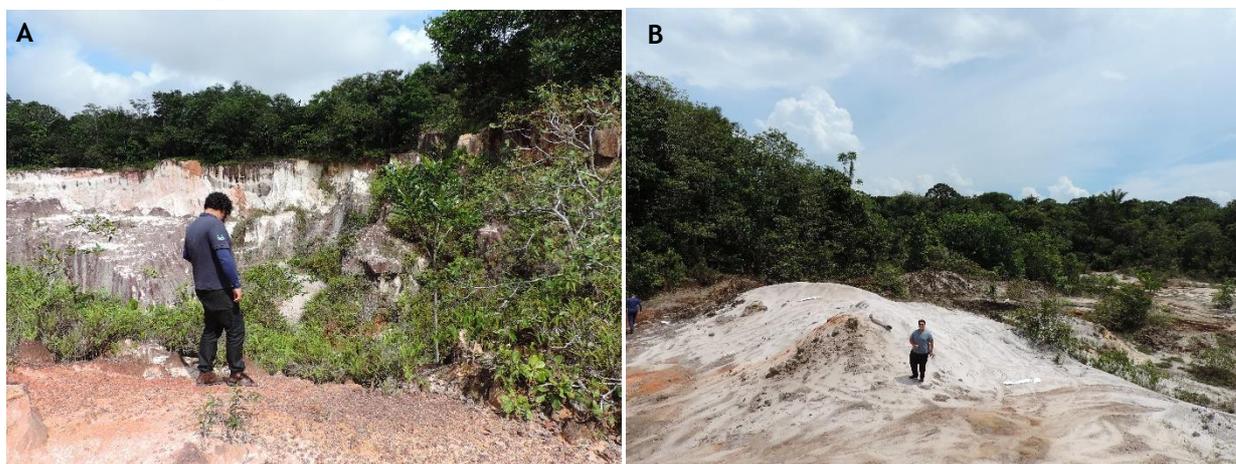


**Fonte:** Grupo de Pesquisa GeoTap (2020).

Já o alto curso com extensão territorial de 500,49 km<sup>2</sup> é a área com menores impactos na vegetação com 90,66% da classe arbórea dominante e 5,65% de herbácea e arbustiva em 2021. Mesmo o alto curso possuindo uma predominância vegetal da classe arbórea dominante a rodovia BR-319 proporciona alterações da paisagem na margem da rodovia mais precisamente na margem esquerda da bacia como solo exposto e vegetação herbácea e arbustiva (COSTA *et al.*, 2021; COSTA, 2020). Outro assentamento agrário realizado pelo INCRA localiza-se próximo a cabeceira da bacia, assentamento denominado Santo Antônio (COSTA, 2020). Ao longo da rodovia há o surgimento e agravamento de dezenas de tipos de processos erosivos e entre eles o voçorocamento, figura 17a, sendo o desfecho da perda de vegetação (CARVALHO e MOLINARI, 2014).

Outros recursos explorados na bacia além da extração da madeira e dos recursos hídricos por exemplo, são a mineração e a extração de areia, retirada do baixo curso da bacia que são usadas na construção civil da capital. Ambas atividades também são responsáveis assim como a extração da madeira, pela degradação ambiental da bacia no que diz respeito a exposição do solo, figura 17b, e potencialidade de erosão e poluição do recurso hídrico no caso da mineração.

**Figura 17** - Ao longo da Rodovia da BHTA: (A) Voçoroca; (B) Solo Exposto



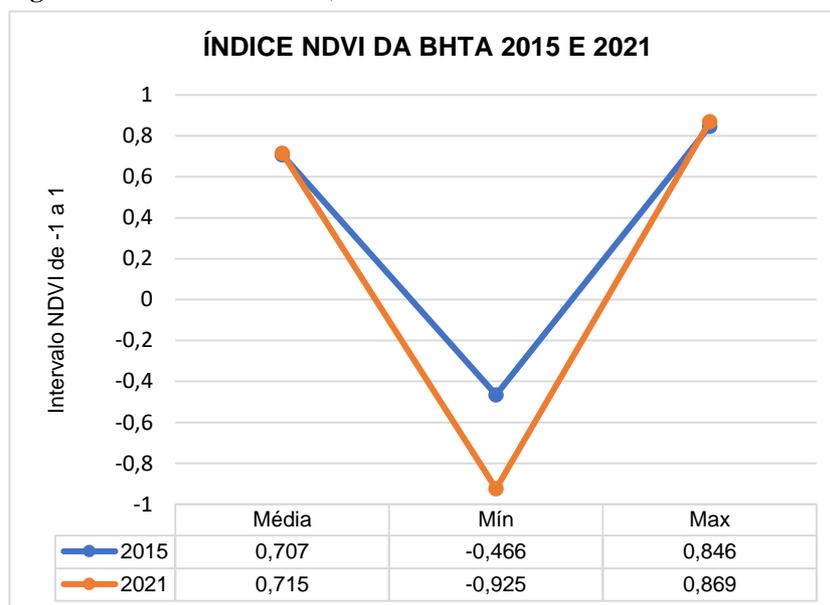
Fonte: Grupo de Pesquisa GeoTap (2020).

#### 4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença normalizada (NDVI) de intervalo de classe de -1,0 a 1,0 resultou em média para a BHTA o índice de 0,707, máxima de 0,846 e mínima de -0,466 no ano de 2015. Para o ano de 2021 a média do índice ficou em 0,715, máxima de 0,869

e mínima de -0,925, figura 18. Nesse intervalo de tempo observa-se que houve um aumento na média e máxima do índice e uma queda na mínima.

**Figura 18** - Gráfico da Média, Mínima e Máxima Índice NDVI da BHTA em 2015 e 2021



**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

Relacionando as classes de uso e cobertura da terra com o Índice de Vegetação por Diferença normalizada (NDVI) para o ano de 2015 a 2021 podemos observar que a classe da água apresentou um bom percentual do NDVI de intervalo  $\leq 0$  para ambos os anos, representado pela cor vermelha no mapa, figura 19 e 20. Entende-se que a classe água não teve seu percentual total restringido ao intervalo  $\leq 0$  pela resolução espacial do sensor OLI resultando na mistura de elementos próximos como a vegetação, solo exposto e outras classes, alterando o valor desses pixels do NDVI que tiveram valores  $> 0$ .

As classes de área urbana e solo exposto apresentaram um intervalo do índice de 0 a 0.4. Enquanto a área de vegetação herbácea e arbustiva e arbórea dominante registrou intervalo do NDVI de  $> 0.5$ , correspondido pelas cores verdes claro e verde escuro no mapa.

Ao observar a extensão da área de cada classe do NDVI, figura 21, é possível descrever os seguintes resultados: a classe do intervalo do índice  $\leq 0$  possui uma extensão na bacia de (11,32 km<sup>2</sup>) 0,82% para o ano de 2015 e (12,50 km<sup>2</sup>) 0,91% em 2021. A classe do intervalo de 0 a 1 conta com (5,13 km<sup>2</sup>) 0,37% em 2015 e (4,77 km<sup>2</sup>) 0,35% em 2021. A classe do intervalo de 0.1 a 0.2 compreende (16,08 km<sup>2</sup>) 1,17% em 2015 e (19,76 km<sup>2</sup>) 1,44%. A classe 0.2 a 0.3 constitui (26,07 km<sup>2</sup>) 1,90% em 2015 e (28,32 km<sup>2</sup>) 2,06% em 2021. A classe 0.3 a 0.4 possui (25,21 km<sup>2</sup>) 1,84% em 2015 e (25,26 km<sup>2</sup>) 1,84% em 2021. A classe 0.4 a 0.5 dispõe de uma

área de (30,50 km<sup>2</sup>) 2,22% em 2015 e (29,94 km<sup>2</sup>) 2,18% em 2021. Já a área do intervalo > 0.5 possui a maior área entre as classes do índice NDVI com (1258,31 km<sup>2</sup>) 91,67% em 2015 e (1252,18 km<sup>2</sup>) 91,22% em 2021.

Desse modo a classe da água representou 0,82% e 0,91% do NDVI nos anos de 2015 e 2021 respectivamente, já a classe da área urbana e solo exposto registrou 7,50% e 7,87% em 2015 e 2021 e finalmente a classe da herbácea e arbustiva, arbórea contou com 91,67% e 91,22% em 2015 e 2021. A predominância desse intervalo > 0.5 do índice converge com o predomínio extensão da área da classe de cobertura vegetal na paisagem da bacia fazendo com que a média do NDVI seja superior a 0,7 em ambos os anos.

Figura 20 - Mapa do Índice NDVI da BHTA em 2015

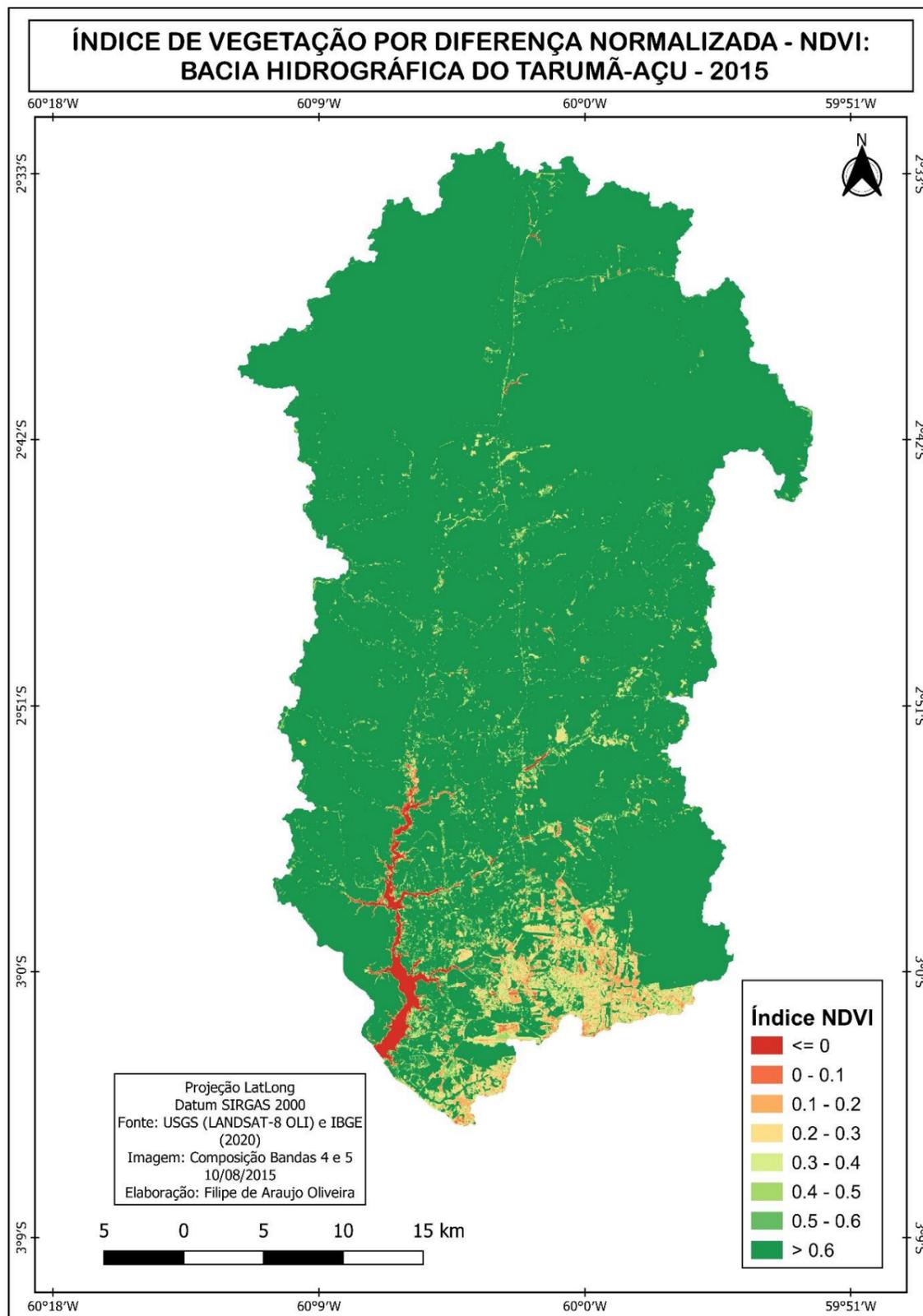
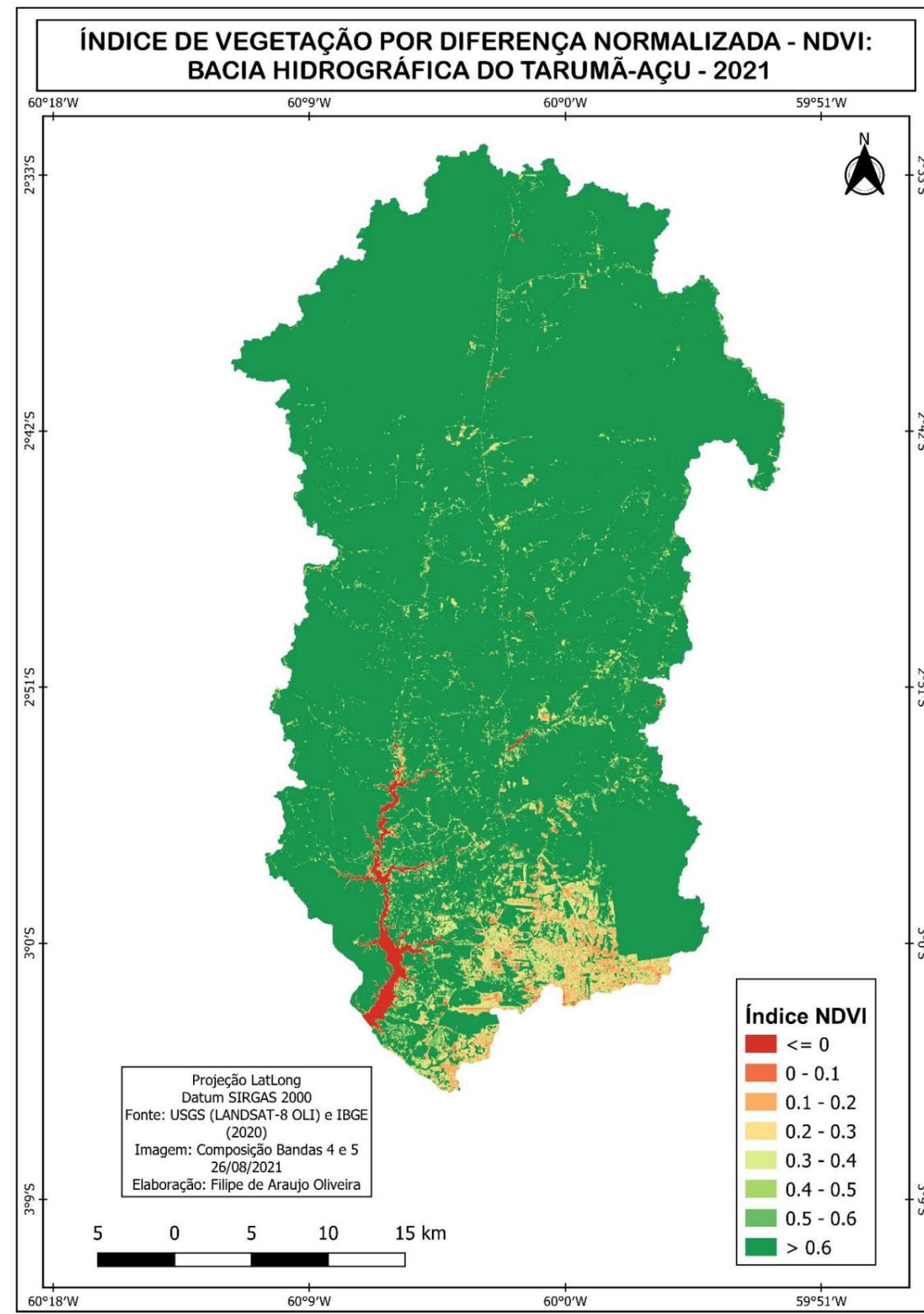
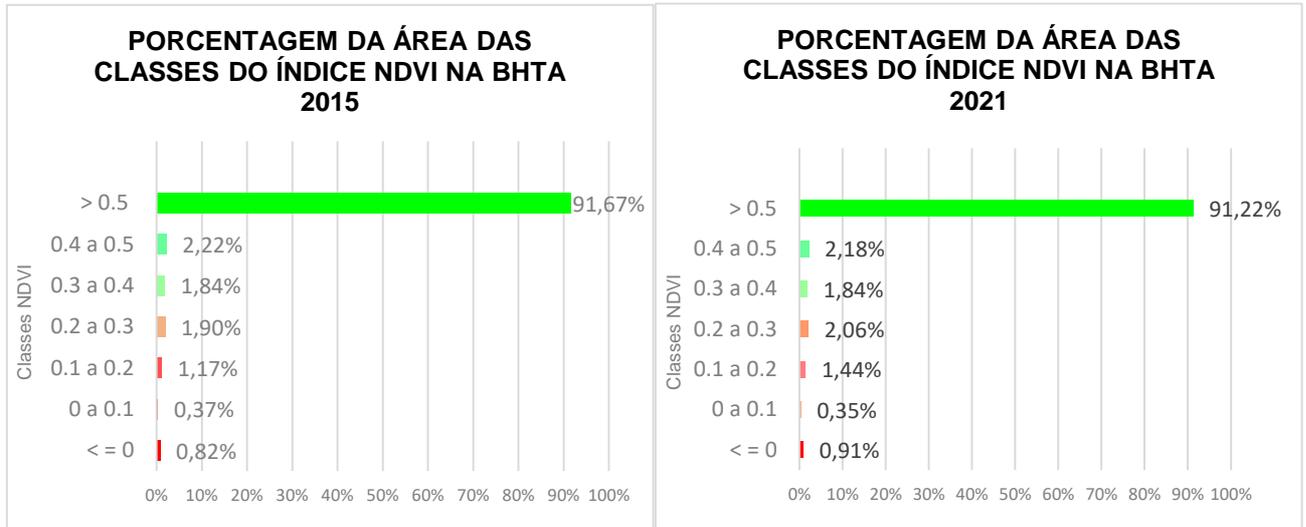


Figura 19 - Mapa do Índice NDVI da BHTA em 2021



**Figura 21** - Gráfico de Percentual da Extensão da Área das Classes do Índice NDVI



**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

### 4.3 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

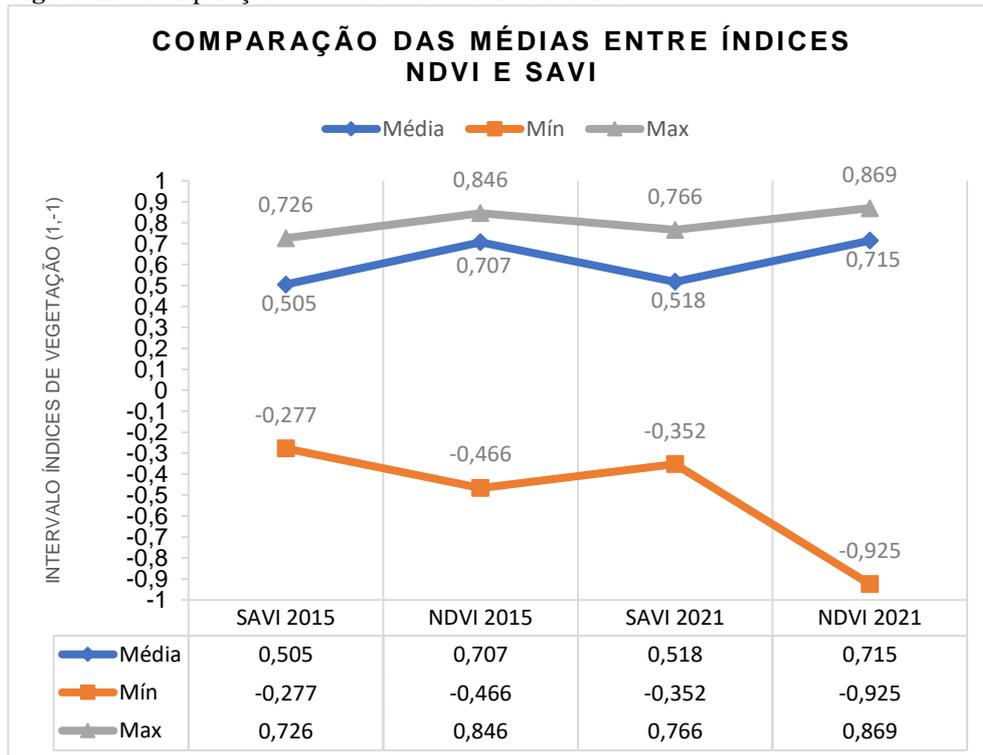
O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), figura 23 e 24, que tem variação no intervalo de -1 a 1 apresentou para o ano de 2015 uma média de 0,505, uma máxima de 0,726 e uma mínima de -0,277, já para o ano de 2021 a média registrou o índice de 0,518, máxima de 0,766 e mínima de -0,352, figura 22, havendo o aumento nas médias e máximas do índice e uma redução das mínimas nos anos de 2015 e 2021.

Comparando os valores dos índices SAVI e NDVI é possível observar que as médias e máximas são menores e as mínimas maiores no índice SAVI, podemos ver essa diferença nas taxas dos índices visualizando nos perfis de comparação dos índices na figura 23 e 24. Isso acontece possivelmente porque o índice possui uma constante (L) de fator de ajuste, nesse caso a constante de 0,25 indicado segundo Gameiro *et al.* (2016) para vegetações densas. A classe desse estudo, arbórea dominante, é considerada densa, o índice com esse fator de ajuste processou nessa área de vegetação arbórea dominante locais de vegetações mais densas que outras, observação que não conseguimos fazer analisando somente de forma visual mesmo por imagens de alta resolução, classificando assim os pixels dessa área em dois intervalos no SAVI tanto no 0.4 a 0.5 quanto no > 0.5 fazendo com que os intervalos menores < 0.5 cresçam e haja essa diferenças entre os dois índices, sendo perceptível nos mapas da figura x e figura x que os de intervalos < 0.5 também fazem parte da classe arbórea dominante no índice SAVI enquanto no NDVI a classe arbórea dominante apareceu somente no intervalo >0.5. De acordo com

Demarchi (2011, p. 240) O NDVI só pode ser equivalente ao valor SAVI quando a constante de fator de ajuste (L) for igual a zero.

De 2015 para 2021 as médias e máximas dos dois índices tem um pequeno crescimento, mas nada significativa, enquanto as mínimas diminuem. De forma expressiva o índice NDVI no ano de 2021 teve um corpo d'água no alto curso da bacia registrou um pixel de -0.925 de NDVI.

**Figura 22** - Comparação das Médias entre NDVI e SAVI



**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

Ao relacionar o índice SAVI com o uso e cobertura da terra da BHTA caracterizou-se os seguintes resultados para os anos de 2015 e 2021: A classe da água se restringiu ao intervalo SAVI de  $\leq 0$ , o mesmo intervalo presente no índice NDVI. A área urbana ficou concentrada no intervalo de 0 a 0,3, comparada ao NDVI houve um recuo dessa classe para o intervalo menor já que no intervalo do NDVI o índice se concentrou entre 0 a 0,4. Os valores SAVI do solo exposto compreendem o intervalo de 0 a 0,4 apresentando comportamento semelhante ao intervalo do índice NDVI. O intervalo de 0,3 a  $> 0,5$  agrupa a classe herbácea e arbustiva que denotam intervalo distinto do índice NDVI aparecendo somente a partir do intervalo 0,4 a 0,5. Desse modo, a vegetação arbórea dominante apresenta valores do SAVI de intervalo 0,4 a  $> 0,5$  em ambos os anos, diferente da classe arbórea dominante do NDVI que só surge no intervalo a frente,  $> 0,5$ .

Figura 24 – Mapa do Índice SAVI da BHTA em 2015

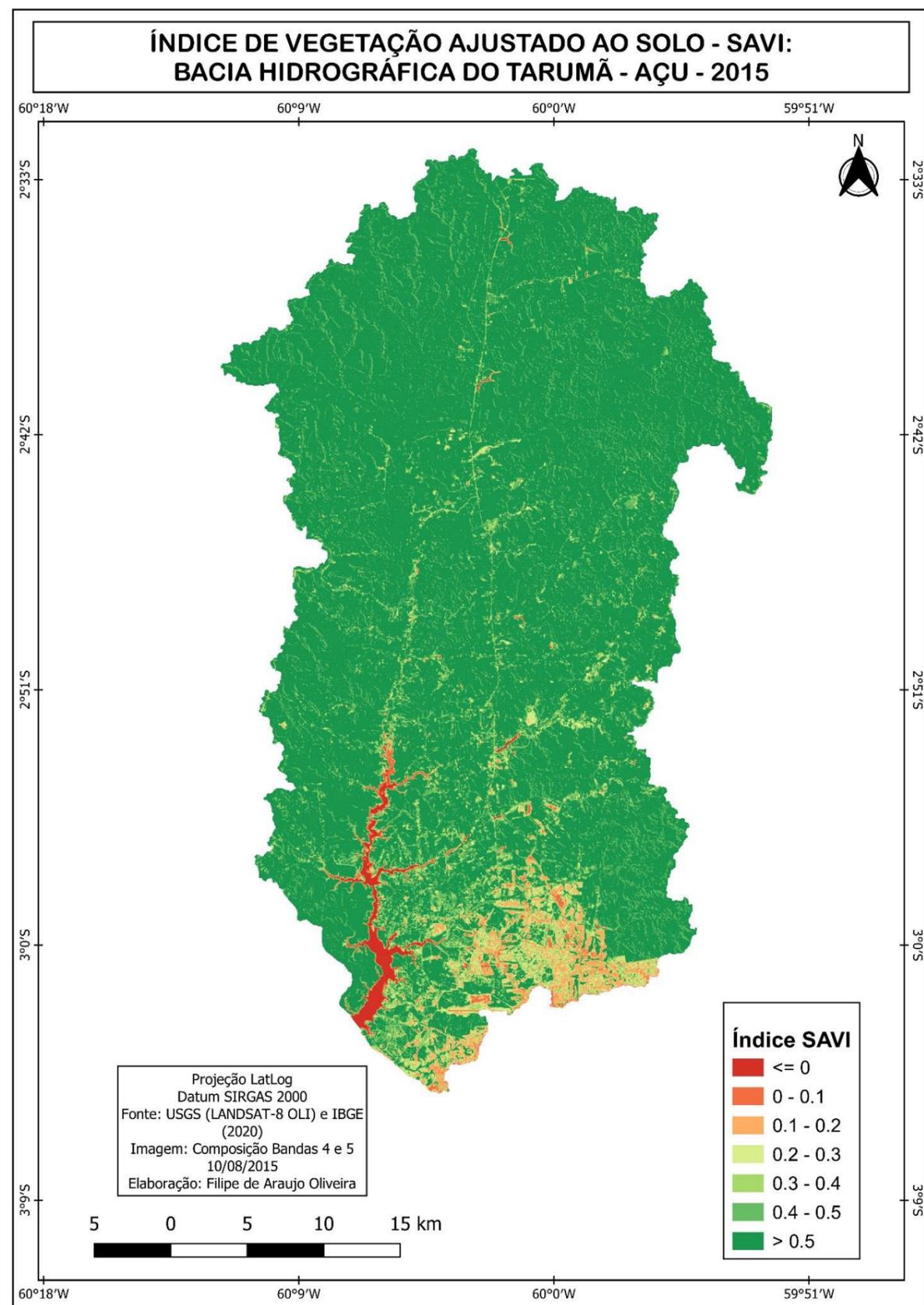
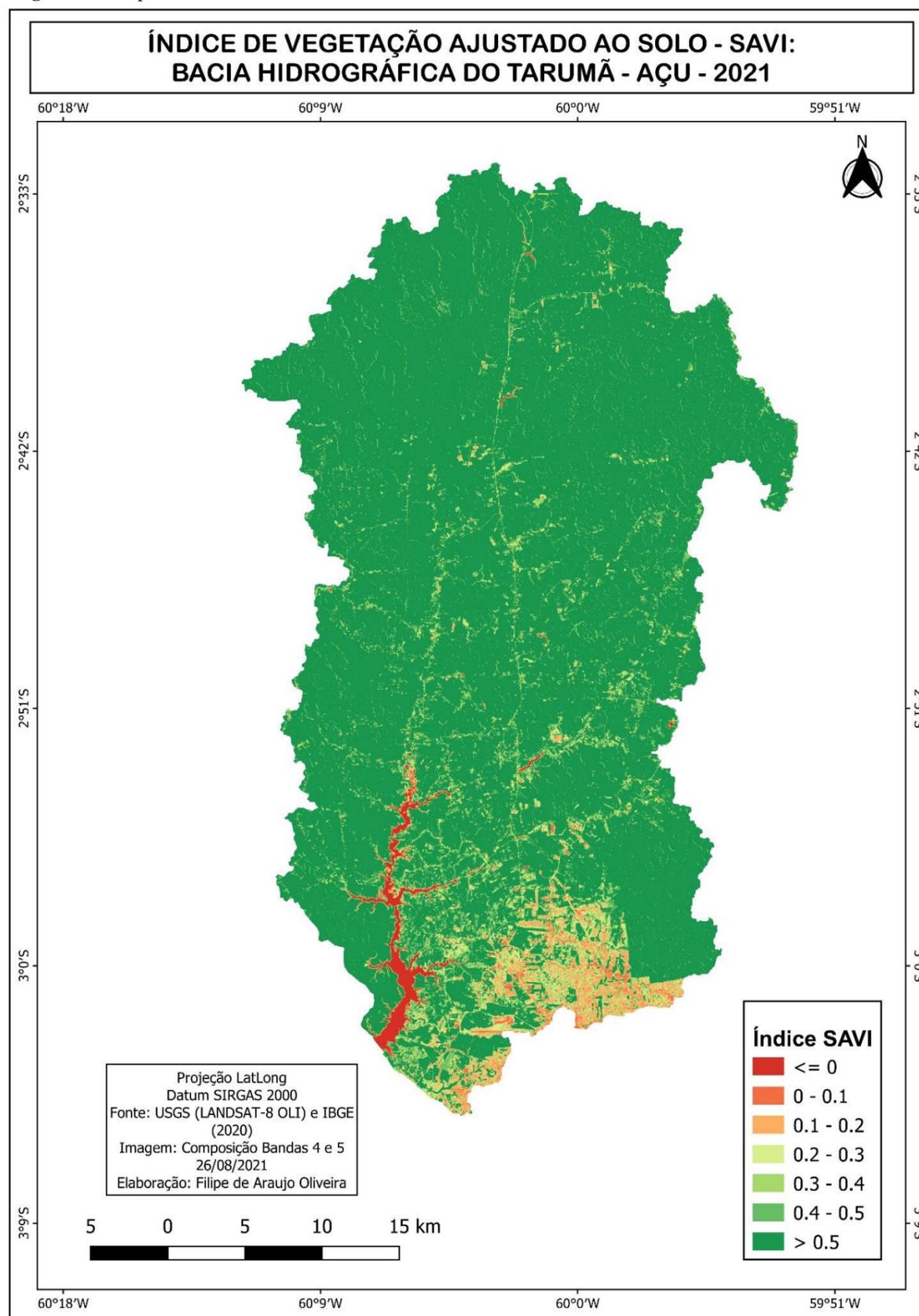


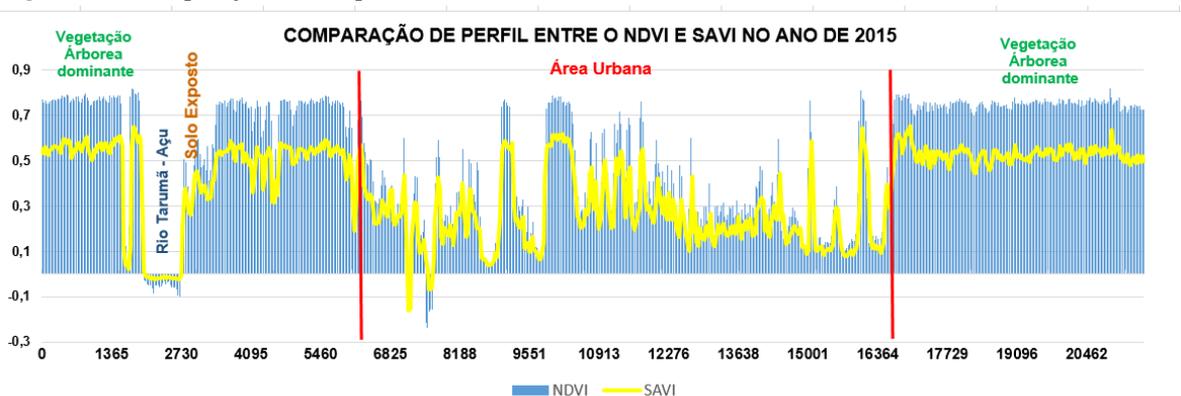
Figura 23 - Mapa do Índice SAVI da BHTA em 2021



Ao traçar o perfil de índice de vegetação NDVI e SAVI no baixo curso da BHTA do limite da margem direita da bacia para o limite da margem esquerda, figura 25 e 26, podemos observar como as diferentes classes se comportam. Por exemplo, a vegetação arbórea dominante nesse perfil tem presença em vários pontos desde o início na margem direita até o fim na margem esquerda localizando na Reserva Florestal Adolfo Ducke onde tanto o índice SAVI e NDVI tem seus maiores índices em ambos os anos. Os menores índice entre as classes ficam por conta da classe da água e da área urbana, área urbana que ocupa grande parte da extensão do perfil. Outro ponto importante que o perfil nos mostra é à esquerda do baixo curso com índices muito baixo de vegetação, significando claramente a perda de vegetação e a ocupação por parte da área urbana, com exceção da reserva florestal. No limite da área urbana destaca-se alguns picos dos índices de vegetação que aponta a presença de alguns fragmentos florestais que ainda sobrevivem em meio a área urbana do baixo curso.

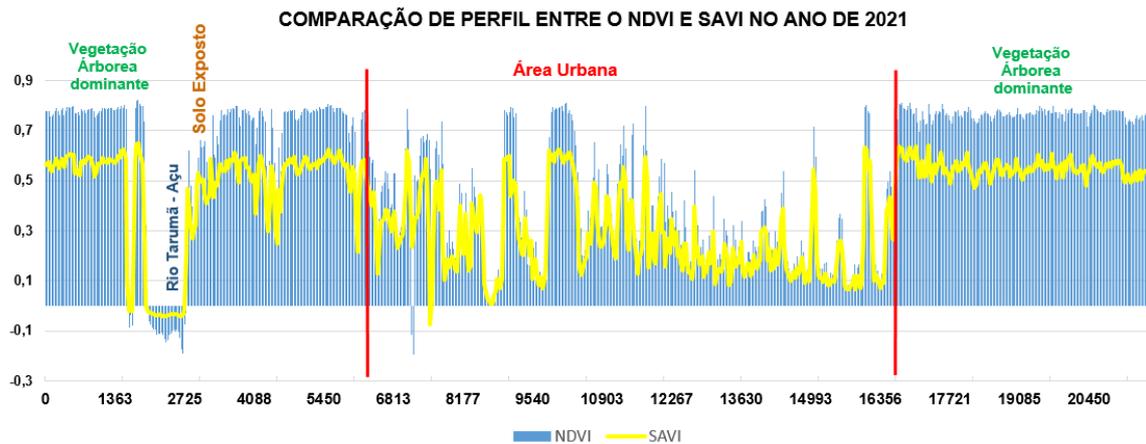
Destaca-se também ao analisar o perfil o fato de que o índice SAVI tem seus índices menores que o NDVI convergindo com os valores da média e máxima que são menores e a mínima maior nos dois anos. Em tese essa diferença era esperada justamente pelo índice SAVI usar um fator L que proporciona ajuste de brilho e efeito espectral do solo em relação ao NDVI.

**Figura 25** - Comparação entre o perfil do NDVI e SAVI do ano de 2015



**Fonte:** USGS/Landsat-8/bandas45 (2015). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

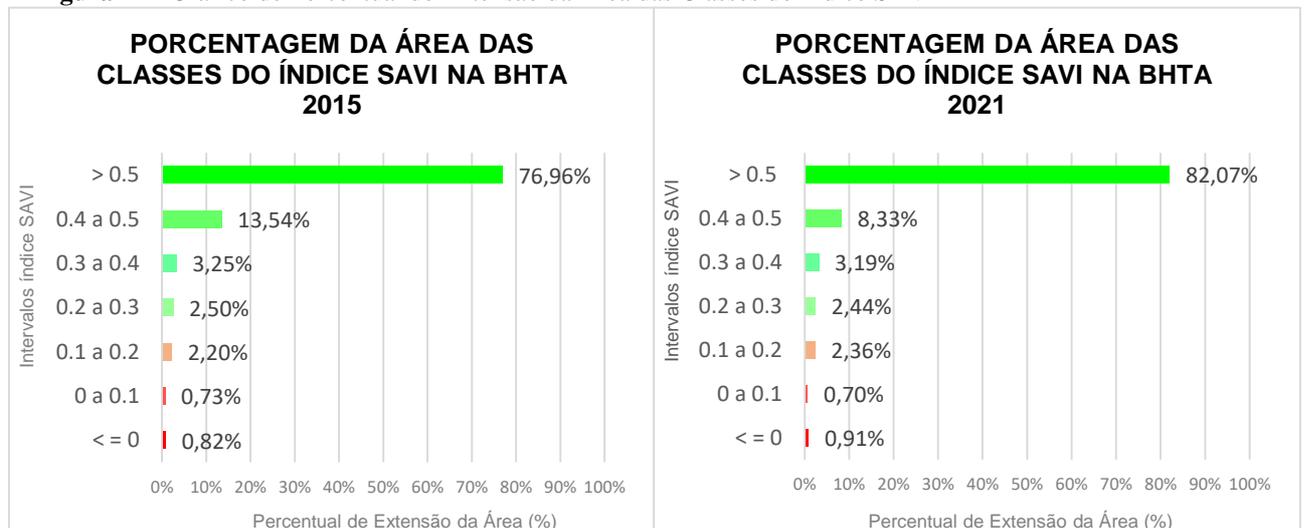
**Figura 26** - Comparação entre o Perfil do NDVI e SAVI do ano de 2015



**Fonte:** USGS/Landsat-8/bandas45 (2021). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

O intervalo 0 a 0.1 do SAVI representa o menor percentual de extensão em área na BHTA de todas as classes em ambos os anos com apenas (9,96 km<sup>2</sup>) 0,73% em 2015 e (9,58 km<sup>2</sup>) 0,70% em 2021, figura 27, mas também é interessante observar que em relação ao NDVI houve uma maior porcentagem de pixels classificados nesse intervalo nos dois anos analisados. Outra classe de intervalo que chama atenção no índice SAVI é a 0.4 a 0.5 que chegou a uma extensão de área de (185,77 km<sup>2</sup>) 13,54% em 2015 e (114,32 km<sup>2</sup>) 8,33% em 2021 da área total da bacia, para esse mesmo intervalo no índice NDVI não tinha chegado nem a 3% nos dois anos. Já o intervalo > 0.5 abrangeu a maior extensão da área da bacia compreendendo (1056,17 km<sup>2</sup>) 76,96% em 2015 e (1126,40 km<sup>2</sup>) 82,07% opondo com o mesmo intervalo do NDVI é possível apontar que houve uma queda no percentual em relação aos dois anos no índice NDVI.

**Figura 27** - Gráfico de Percentual de Extensão da Área das Classes do Índice SAVI

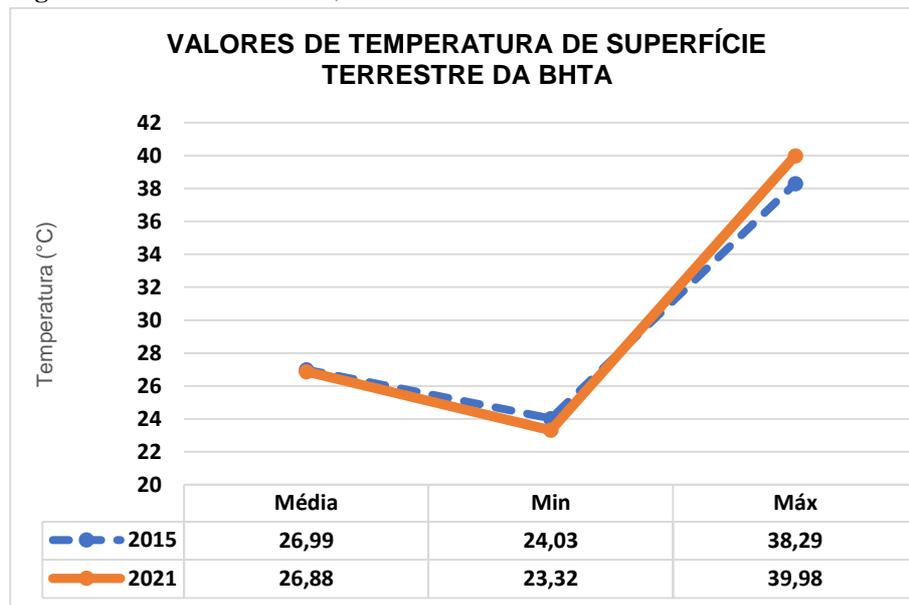


**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

#### 4.4 Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

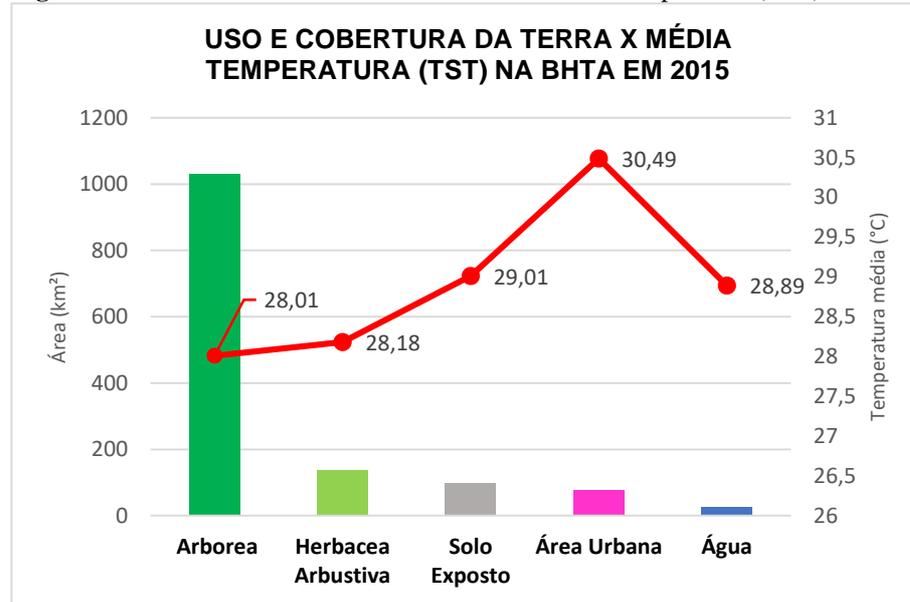
Na figura 28, mostram as médias, máximas e mínimas de temperatura de superfície terrestre (TST) para os anos de 2015 e 2021 na Bacia Hidrográfica do Tarumã Açu. As médias são de 26,99°C para o ano de 2015 e 26,88 °C em 2021. Já as mínimas de temperatura com 24,03°C em 2015 e 23,32°C em 2021 de uma amplitude térmica de 0,71°C. E por fim as máximas de TST são de 38,29 °C em 2015 e 39,98°C em 2021 com uma amplitude térmica de 1,9°C.

**Figura 28** - Gráfico da Média, Mínima e Máxima da TST na BHTA em 2015 e 2021

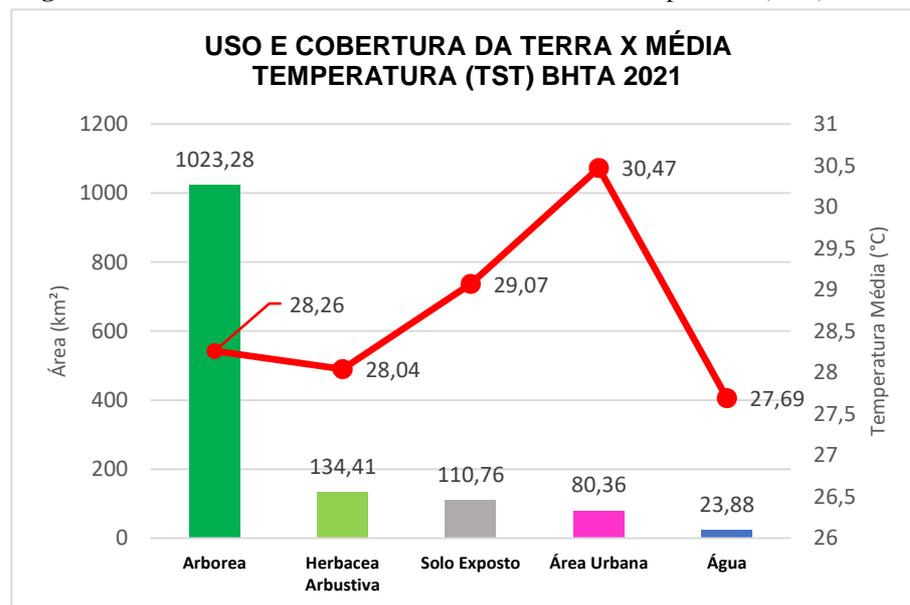


**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

Na figura 29 e 30 é possível relacionar as classes do uso e cobertura da terra com as médias de temperatura de superfície terrestre (TST) para os anos de 2015 e 2021. A média da TST da classe da água é de 28,89 °C e 27,69 °C em 2015 e 2021 respectivamente, sendo a menor média de TST das classes de uso e cobertura da terra para o ano de 2021. Na classe Arbórea dominante as médias de temperatura chegam a 28,01°C em 2015 e 28,26°C em 2021, sendo 28,01°C a menor média para 2015. Para a classe herbácea e arbustiva as médias se encontram em 28,18°C em 2015 e 28,04°C em 2021. A classe do solo exposto registrou 29,01°C em 2015 e 29,07°C em 2021. Já na classe área urbana ocorreu as maiores médias de TST entre as classes para os dois anos registrando-se 30,49°C em 2015 e 30,47°C em 2021.

**Figura 29** - Gráfico do Uso e cobertura do solo x média temperatura (TST) na BHTA em 2015

Elaboração: Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

**Figura 30** - Gráfico do Uso e cobertura do solo x média temperatura (TST) na BHTA em 2021

Elaboração: Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

A classe da água tem mínimas de 25,17°C e 24,37°C e máximas de 30,98°C e 29,25°C com amplitude térmica de 5,81°C e 4,88°C no ano de 2015 e 2021 respectivamente. Ao comparar com os dados de temperatura da água do rio Tarumã – Açú coletados em campo no dia 13 de agosto de 2019, campo do grupo de pesquisa Geotap, temos média dos 40 pontos de coleta de 30,9°C, máxima de 31,76°C e mínima de 29,67°C, sendo os valores dos dados de campos maiores que o TST.

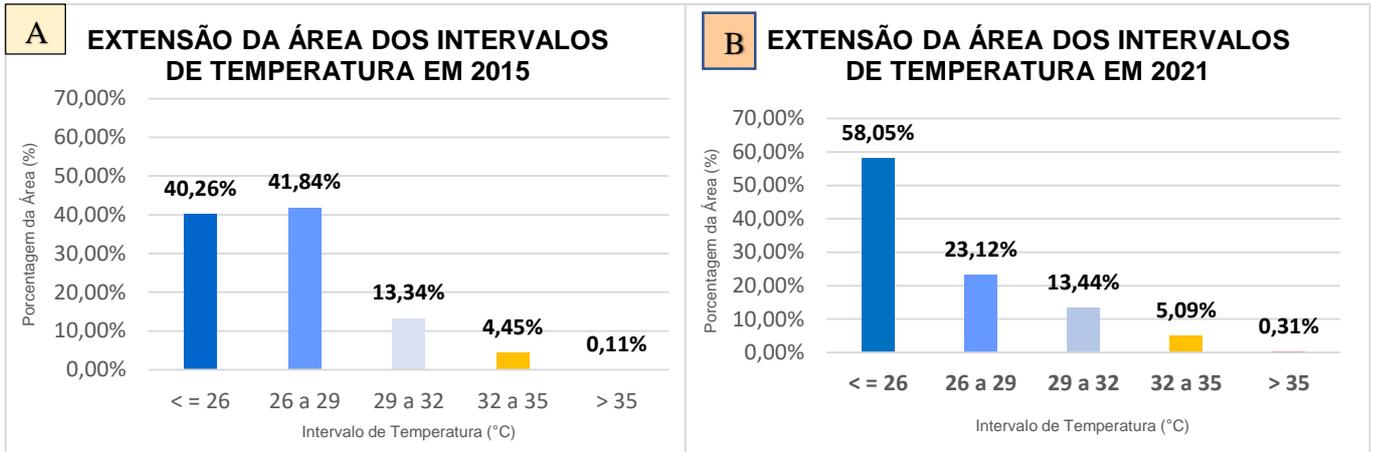
Já a classe arbórea dominante teve mínimas de 24,03°C e 23,32°C e máximas de 33,64°C e 33,98°C com amplitude térmica de 9,61°C e 10,66°C para 2015 e 2021 respectivamente. A classe Herbácea e Arbustiva dispôs de uma mínima de 25,18°C e máxima de 33,96°C com amplitude de 8,78°C para o ano de 2015, mínima de 24,79°C e máxima de 34,24°C com amplitude 9,45°C no ano de 2021.

Em 2015 a classe solo exposto deteve amplitude de 9,41°C com mínima de 26,45°C e máxima de 35,86°C, já em 2021 a amplitude foi de 8,33°C com mínima de 28,68°C e máxima de 37,01°C. E por fim a classe área urbana apresentou mínima de 27,64°C e máxima de 38,29°C resultando em uma amplitude térmica de 10,65 °C em 2015 e mínima de 29,01°C e máxima de 39,98°C com amplitude de 10,97 °C no ano de 2021.

É possível observar que as menores mínimas do ano de 2015 e 2021 ocorreram nas classes arbórea dominante e água, enquanto as maiores máximas aconteceram nas classes área urbana e solo exposto para ambos os anos. Já as menores amplitudes térmicas são da classe água nos dois anos e as maiores amplitudes são da classe área urbana. Outro ponto que se pode destacar é o aumento da amplitude térmica na maioria das classes de uso e cobertura da terra do ano de 2015 para o ano de 2021, com exceção do solo exposto e da água que tiveram sua amplitude reduzida.

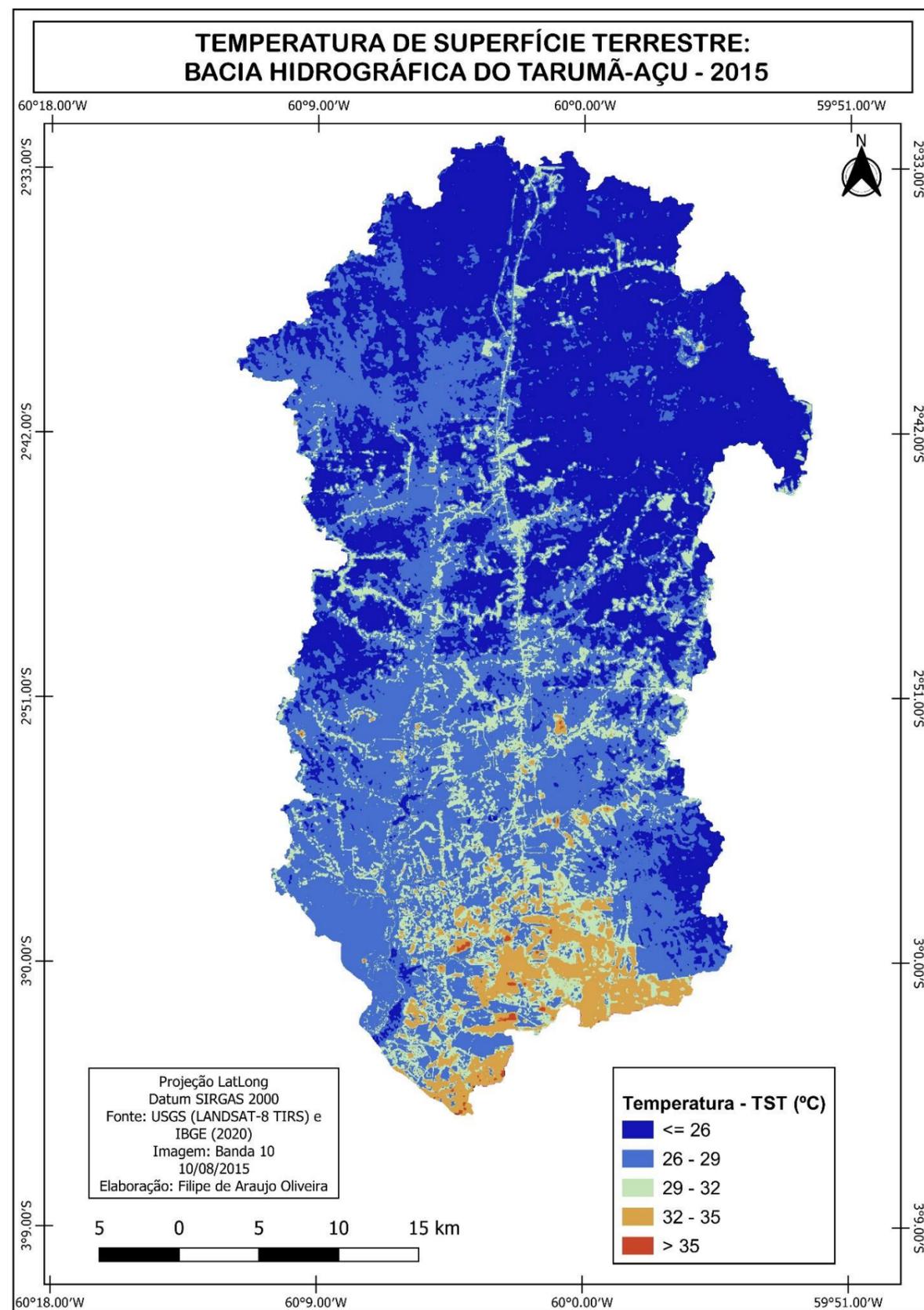
Do mapa de temperatura do ano de 2015 e 2021, figura 32 e 33, foi possível realizar a quantificação da extensão dos intervalos de temperatura da área da BHTA. Na classe do intervalo de temperatura  $\leq 26^{\circ}\text{C}$  o registro da extensão da área foi de (551,83 km<sup>2</sup>) 40,26% da área total da bacia em 2015 e (795,62 km<sup>2</sup>) 58,05% em 2021 sendo nesse ano o intervalo com a maior extensão. No intervalo de 26°C a 29°C a extensão da área em 2015 foi de (573,41 km<sup>2</sup>) 41,84%, esse intervalo apresenta a maior área do ano de 2015, enquanto no ano de 2021 a área abrangeu (316,83 km<sup>2</sup>) 23,12%. As menores extensões de área foram para o intervalo de  $> 35^{\circ}\text{C}$  em ambos os anos, gráfico 31a e 31b.

**Figura 31** - Gráfico da Extensão da Área dos Intervalos de Temperatura: (A) 2015 e (B) 2021

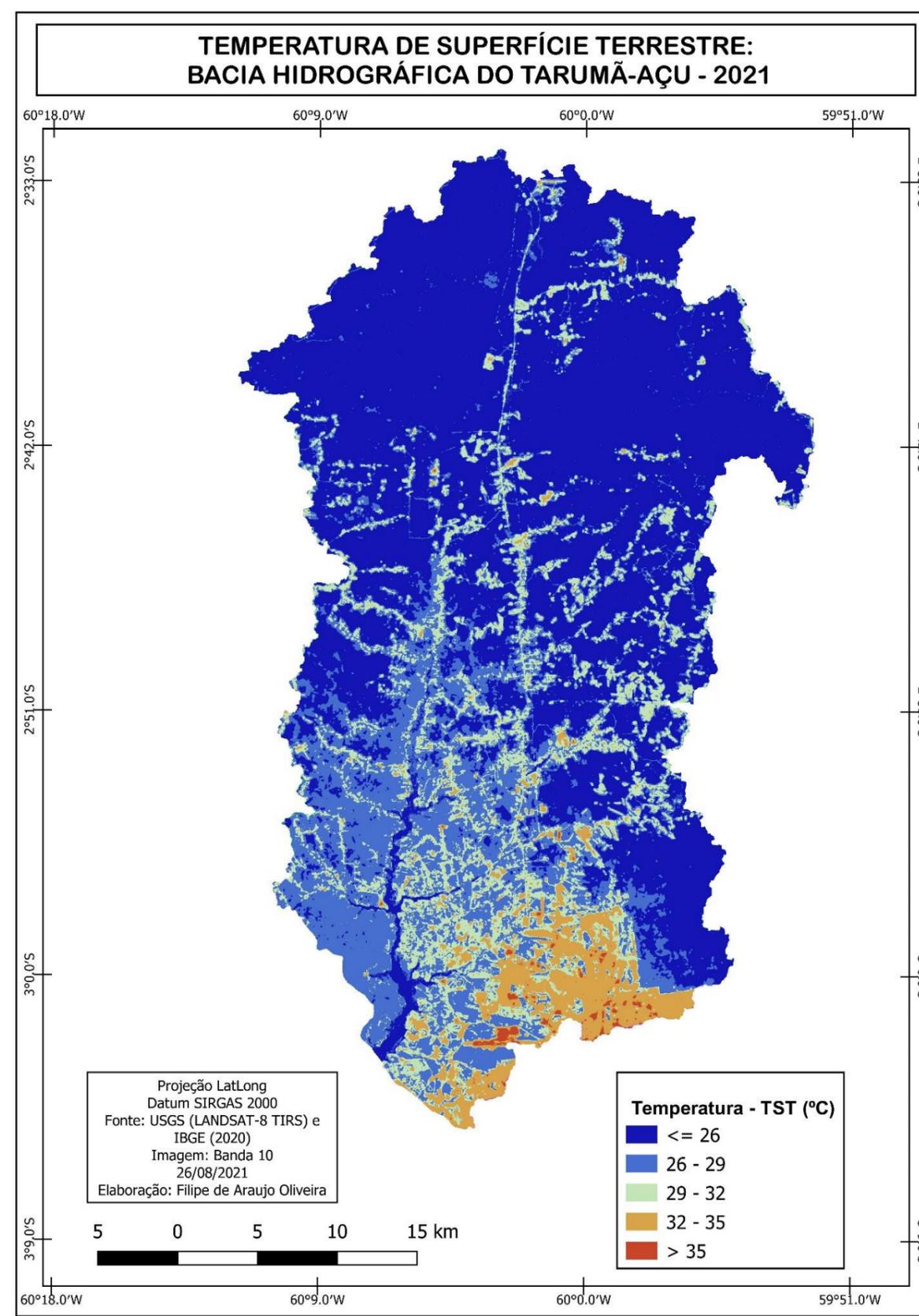


**Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

**Figura 33** – Mapa de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da BHTA – 2015

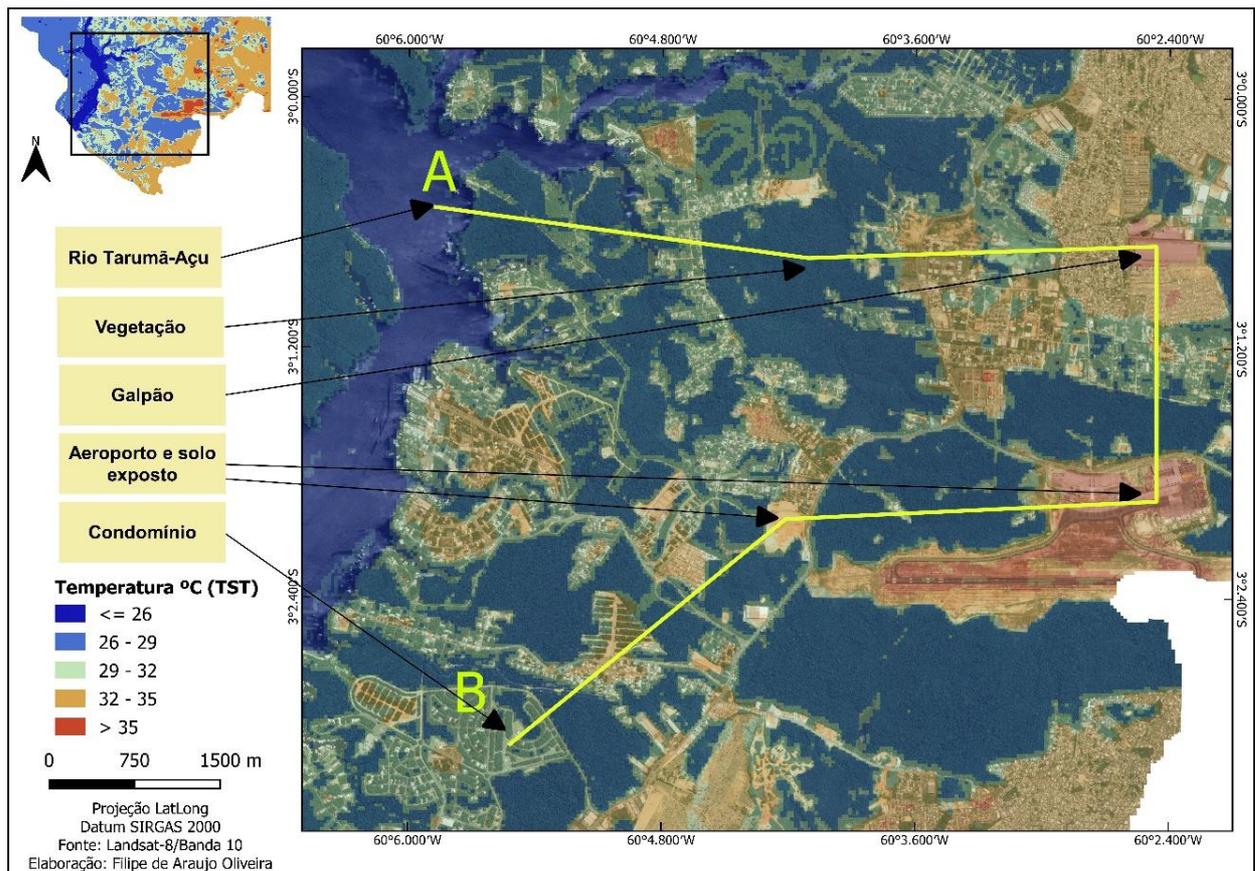


**Figura 32** – Mapa de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da BHTA - 2021



A figura 34 e 35 são perfis de campo térmico de superfície que objetiva mostrar em uma maior escala o comportamento da temperatura entre os pontos “A-B” de 15,24 km que contém distintos usos e coberturas como o rio Tarumã – Açú, vegetação, construções, pavimentos e solo exposto.

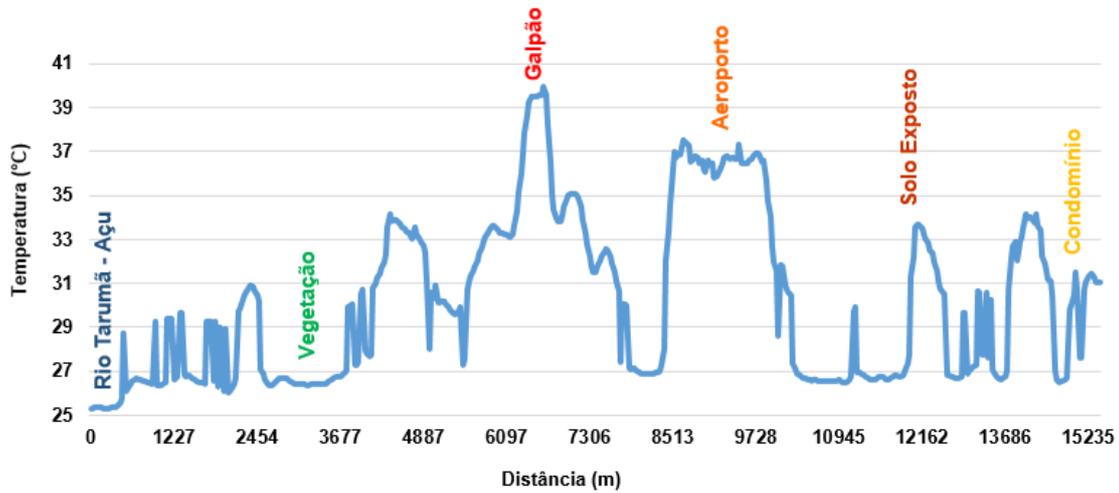
**Figura 34** - Mapa do Traçado do Perfil A-B do campo térmico de superfície - 2021



**Fonte:** Landsat-8/banda10 (2021). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

No perfil A-B do campo térmico podemos observar as maiores temperaturas de superfície localizados no Galpão e Aeroporto enquanto as menores são encontradas no rio Tarumã – Açú e Vegetação. A amplitude desse perfil chegou a 14,68°C, sendo a temperatura mínima localizada no rio Tarumã açú com 25,27°C e máxima 39,95°C no galpão.

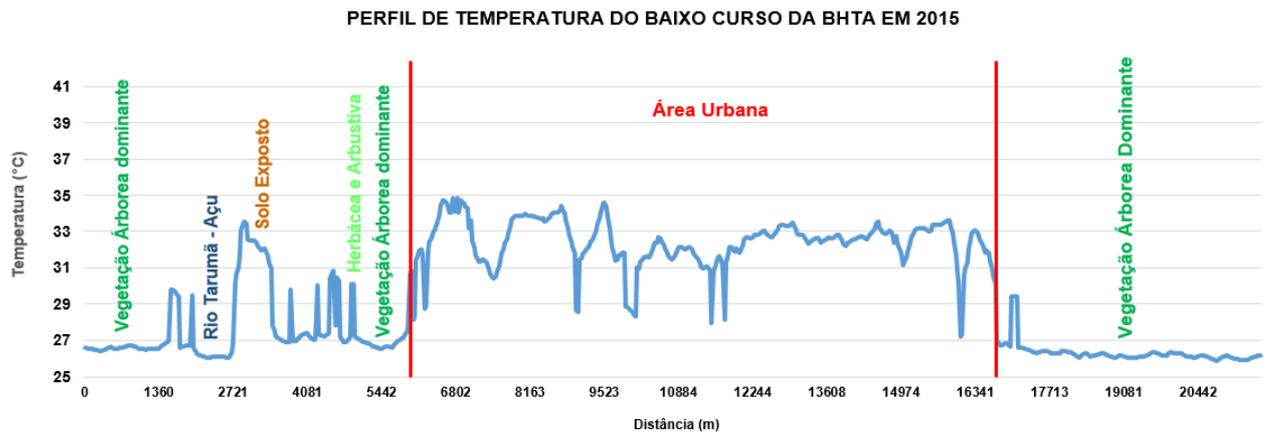
**Figura 35** - Gráfico do Traçado do Perfil A-B do campo térmico de superfície - 2021  
**PERFIL DE A-B DE TEMPERATURA DO BAIXO CURSO DA BHTA EM 2021**



**Fonte:** USGS/Landsat-8/banda10 (2021). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

Traçando o perfil de temperatura no baixo curso da BHTA do limite da margem direita da bacia para o limite da margem esquerda, como podemos ver na figura 21, temos o comportamento da temperatura entre as duas margens de aproximadamente de 20 km para o ano de 2015 e 2021, figura 36 e 37, que contém distintos usos e coberturas como o rio Tarumã – Açú, vegetação arbórea dominante, solo exposto, herbácea e arbustiva e área urbana. Para ambos os anos as maiores máximas estão localizadas na classe área urbana e solo exposto, e as menores mínimas na vegetação arbórea dominante e água do rio Tarumã – Açú.

**Figura 36** - Gráfico do Traçado do Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA – 2015

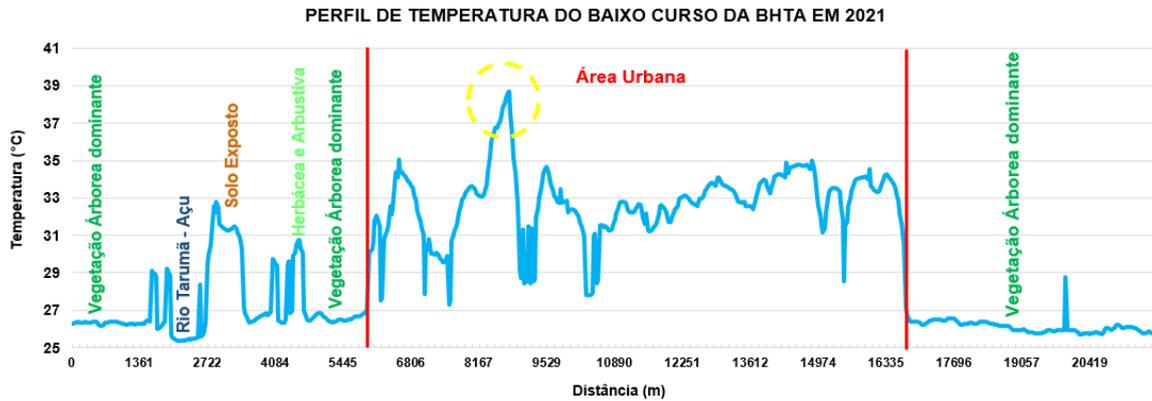


**Fonte:** USGS/Landsat-8/banda10 (2015). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

É possível constatar no perfil térmico um aumento da temperatura na classe área urbana do ano de 2015 para 2021 em alguns pontos do perfil. E vale destacar entre eles o maior pico

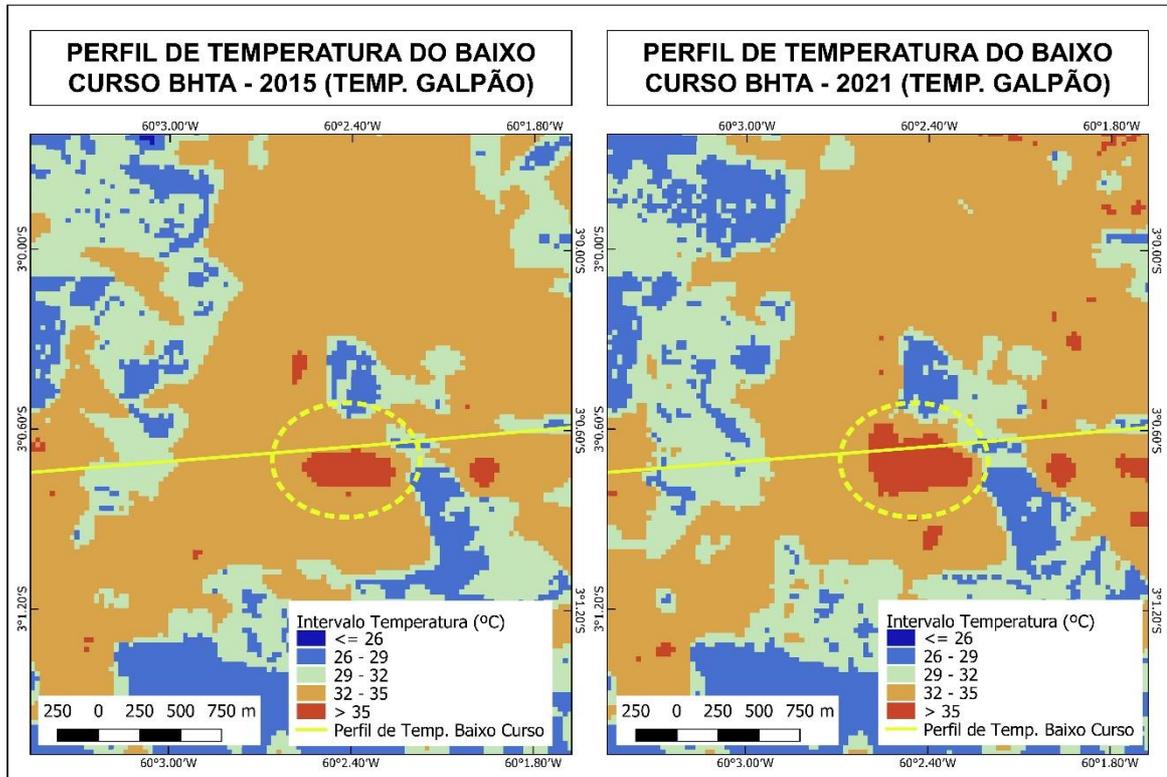
dentro do perfil da área urbana de 2021 diz respeito a um galpão com 38°C, a espacialização dessa temperatura aumentou de 2015 para 2021, atingindo assim o perfil de temperatura de 2021 e não o de 2015 como podemos ver pela figura 38.

**Figura 37** -- Gráfico do Traçado do Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA – 2021.



**Fonte:** USGS/Landsat-8/banda10 (2021). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

**Figura 38** - Perfil campo térmico do baixo curso da BHTA em 2015 e 2021 - Temperatura Galpão.



**Fonte:** USGS/Landsat-8/banda10 (2021). **Elaboração:** Oliveira, Filipe de Araujo (2022).

## 6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Bacia Hidrográfica do Tarumã-açu a presença de vegetação arbórea dominante predomina em toda a bacia abrangendo uma área de 1030,5 km<sup>2</sup> em 2015 e 1022,68 km<sup>2</sup> em 2021 resultando em uma perda de vegetação arbórea dominante de 7,82 km<sup>2</sup> e calculando essa perda juntamente com a classe de vegetação herbácea e arbustiva esse número sobe para 11,15 km<sup>2</sup>. Para termos noção desse número podemos usar o estádio de futebol como exemplo, um estádio tem aproximadamente 1,08 hectares e 1 quilômetro quadrado vale 100 hectares, ou seja, 11,15 km<sup>2</sup> de perda vegetal equivale a 1115 estádios. Já o solo exposto teve um aumento de 10,92 km<sup>2</sup> em toda bacia e a área urbana um acréscimo de 1,64 km<sup>2</sup>.

Aumentando a escala de análise e analisando os cursos da bacia é possível notar que o baixo curso é o curso mais degradado da bacia pelos seguintes fatores: está presente na área urbana e se localiza nos limites do seu rio principal. Esses fatores permitem a sociedade antropogênica com suas atividades econômica, atividades de lazer e morada maiores impactos nesse curso, números que chegam a 57,18% da vegetação arbórea dominante de sua extensão, 15,49% de área urbana e 11,66% de solo exposto no ano de 2021, havendo uma perda 1,15% em torno de 6,58 km<sup>2</sup> da vegetação arbórea dominante de 2015 para 2021. O médio curso, zona de transição entre a zona urbana da bacia e a zona rural, possui da sua extensão 77,06% vegetação arbórea dominante em 2021. A vegetação arbórea teve uma pequena perda de 0,27 km<sup>2</sup> de 2015 a 2021, com esses resultados enfatizamos a diminuição da classe herbácea arbustiva e o aumento do solo exposto.

Já o alto curso tem os menores impactos no que diz respeito as classes de uso e cobertura da terra analisada, isso porque sua porcentagem de cobertura arbórea chega a 90,66% em 2021 tendo uma perda de 0,02% no período analisado, destaca-se assim como no médio curso é a diminuição da taxa de cobertura herbácea arbustiva e o aumento do solo exposto como se pode ver nos mapas e nos gráficos, área de impactos essas com grandes influências da rodovia.

Os índices NDVI e SAVI em suas médias nos intervalos dos dois anos analisado não obteve aumento significativo, mas tiveram diferenças na comparação entre eles, enquanto o índice SAVI teve uma taxa média abaixo do NDVI em ambos os anos. Ao relacionar com as classes de uso e cobertura da terra a classe da água foi a que se apresentou no menor intervalo, < 0, e o maior intervalo dos índices, > 0.5, ficou por conta da classe herbácea e arbustiva e arbórea dominante em ambos os anos.

A Temperatura de Superfície Terrestre da bacia tem uma queda na sua média de 2015 a 2021, porém sua máxima aumenta e sua mínima diminui. A área urbana e solo exposto são as

classes com maior média de temperatura nos dois anos atingindo a máxima  $>37^{\circ}\text{C}$  na área urbana. Já as menores média de temperatura pertencem às classes arbórea dominante e herbácea e arbustiva no ano de 2015 e herbácea e arbustiva e água para 2021. De 2015 para 2021 as médias, mínimas e máximas de TST para a bacia como um todo não apresentam variações significativas ao longo desses anos, já o aumento das extensões das áreas nos intervalos 32 a  $35^{\circ}\text{C}$  chegou a  $8,72\text{ km}^2$ , e no intervalo  $\leq 26^{\circ}\text{C}$  atinge  $243,79\text{ km}^2$  e a queda de  $256,58\text{ km}^2$  no intervalo de 26 a  $29^{\circ}\text{C}$  chama atenção, essas alterações nas extensões das áreas das classes de temperatura podem ser resultados das variações dos níveis de precipitação e umidade de dias anteriores das imagens, deste modo uma verificação nos dados meteorológicos da estação mais próxima da área de estudo poderá propor explicações para essa diferença de temperatura numa mesma classe de uso e cobertura da terra, a classe arbórea dominante na imagem de 2015 comparada com a imagem de 2021. Outro resultado a se destacar nessa pesquisa é a alta variação da temperatura em virtude da mudança do tipo de uso e cobertura da terra como podemos observar nos perfis de TST.

Portanto, o uso das diversas geotecnologias juntamente com o sensoriamento remoto são essências na análise da dinâmica da paisagem, no planejamento e desenvolvimento de metodologias de estratégias de gestão na conservação e preservação do meio ambiente, isso porque as cidades crescem demograficamente, milhares de pessoas nascem, migram e necessitam de espaços para habitar, estudar, trabalhar, praticar o lazer e esse crescimento demanda dos espaços e das paisagens como a da BHTA, gestão que se possa acomodar pessoas com sustentabilidade ao meio ambiente. E estudos de pesquisa como esses são importantes para propor reflexões e proporcionar dados e informações do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície terrestre contribuindo com o monitoramento dos impactos antrópicos na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

## REFERÊNCIAS

- AIRES, Adriano Araújo; BEZERRA, Joel Medeiros. Mapeamento do índice de vegetação e temperatura de superfície da cidade de Pau dos Ferros-RN. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 48, p. 113-131, 2021.
- ALBUQUERQUE, Rotsen Diego Rodrigues de. **Estudo Comparativo de Algoritmos de Classificação Supervisionada para Classificação de Polaridade em Análise de Sentimentos**. 2019. Monografia. (Graduação em Sistema de Informação). Departamento de Estatística e Informática. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRP.
- ALMEIDA, Cláudio Aparecido *et al.* Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 289-301, 2010.
- ANDRADE, Silvia Cristina de Pádua. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do balanço de energia em áreas de floresta e pastagem em Rondônia no Brasil**. 2014. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Tecnologia E Recursos Naturais.
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2008.
- BRASIL, Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável: Diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia brasileira**. Brasília: MMA. 2008.
- CALDAS, Marcellus Marques. **Desmatamento na Amazônia: uma análise econométrica de autocorrelação espacial combinando informações de sensoriamento remoto com dados primários**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CARNEIRO FILHO, Arnaldo; SOUZA, Oswaldo Braga de. **Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009.
- CARTER, Y. & HULME, M. **Interim characterizations of regional climate and related changes up to 2100 associated with the provisional SRES marker emissions scenarios**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, World Meteorological Organization, Genebra, Suíça. 2000.
- COUTINHO, Alexandre Camargo *et al.* **Uso e Cobertura da Terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal : TerraClass 2008**. EMBRAPA: DF. INPE: SP. 2013.
- CONGEDO, Luca. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. Release 7.9.7.1. 2021. Disponível em: < <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html> > acesso em 10 de jan. de 2022.
- COSTA, Jamerson Souza. **Relatório de situação Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu: Transformações Antrópicas e Qualidade da Água**. 1. ed. Manaus – AM. Ed. Autor, 2020.
- COSTA, Jamerson Souza *et al.* Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central. **Scientia Plena**, v. 17, n. 9, 2021.

DEMARCHI, Julio Cesar; PIROLI, Edson Luís; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens LANDSAT-5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011.

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. s.d. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/satelites> > Acesso: 23 de mar. de 2022.

ENGESAT. **Resolução**. s.d. Disponível em: < <http://www.engesat.com.br/resolucao-o-que-e/> >. Acesso em: 20 de mar. de 2022.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel Missions**. s.d. Disponível em: < <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/>> Acesso: 23 de mar. de 2022.

FEARNSIDE, Philip M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus : INPA, 2003. 134p.

FEARNSIDE, Philip M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta amazônica**, v. 36, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, Philip M.; DE ALENCASTRO GRAÇA, Paulo Maurício Lima. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos cadernos NAEA**, v. 12, n. 1, 2009.

FERREIRA FILHO, David Figueiredo. **Identificação de Regiões Homogêneas com base na Precipitação e na Análise de Tendências na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas**. Bélem: UFPA. 2020. 177p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil). Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

FISCH, Gilberto; MARENCO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, p. 101-101, 1998.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

FLORENZANO, Teresa Galloti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GAIAD, Natália *et al.* Uso e Cobertura da Terra Apoiados em Algoritmos Baseados em Aprendizado de Máquina: O Caso De Mariana-Mg. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, 2017.

GAMEIRO, S. *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terræ**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016.

GUILHERME, Adriano Pereira *et al.* Relação entre tipo de cobertura do solo e temperatura de superfície. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 515-525, 2022.

HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Caderno de estudo: bioma Amazônia e o desmatamento**. Rio de Janeiro. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil**. Nota Técnica. Rio de Janeiro: IBGE. 2004. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) > acesso em 10 de mar. de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro. 2012.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de uso da terra**. Manuais em geociências. Rio de Janeiro, IBGE, v. n. 7, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama das Cidades**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama> > acesso em 10 de mar. de 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6> > acesso em 13 de mar. de 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Satélites**. s.d. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat> >. Acesso em 26 de mar. de 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Taxa de Desmatamento**. 2022. Disponível em: < [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates) >. Acesso em 26 de mar. de 2022.

JENSEN, Jonh R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo [et al]. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

KAISER, Eduardo André *et al*. Caracterização da emissividade de superfície do município de Porto Alegre-RS a partir do uso e cobertura da terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos – SP. **Anais** [...]. Santos-SP: INPE, 2019. p. 2600-2603.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.

LEAL, Jorge Luiz dos Santos. **A Amazônia Brasileira e o seu Caráter Transnacional: O Aproveitamento do Seu Patrimônio Estratégico Para Garantia Do Desenvolvimento**. Itajaí-Sc: 2019. Tese (Doutorado em Ciência Jurídica). Centro de Educação de Ciências Sociais e Jurídicas – CEJURPS.

Leduc, Raphael. **Caracterização e mapeamento da vegetação e uso do solo da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazonas**. Manaus: UFAM. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais). Programa Integrado de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais.

LIMA, Daniel Luís. **Sensoriamento remoto e geoestatística na caracterização espaço-temporal de plantas aquáticas**. Presidente Prudente: 2006. Dissertação (Mestrado Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP.

LIMA, Diego Ricardo Medeiros. *et al.* Uso de NDVI e SAVI para Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye. **Revista Espacios**, v.38, n.36, p. 7, 2017.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 2. ed. Campo Grande: Editora Uniderp, – MS. (2006).

LIU, S.; ZHANG, Y. O.; CHENG, F.; ZHAO, X. H. S. Response of Grassland Degradation to Drought at Different Time-Scales in Qinghai Province: Spatio-Temporal Characteristics, Correlation, and Implications. **Remote Sensing**, v.9, p.1329, 2017.

LOPES, H. L. *et al.* Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v. 14, n. 11, p. 1210-1219, 2010.

MASCARENHAS JUNIOR, Tongaté Arnaud. **Fenômenos meteorológicos extremos em Manaus – AM: sazonalidade e impactos no ambiente urbano**. Manaus: UFAM, 2009. 199 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia.

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.

MENESES, Paulo Roberto.; ALMEIDA, Tati de. **Introdução Ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB – CNPQ. 2012. 276p.

MITCHELL, J.F.B., R.A. Davis, W.J. Ingram & C.A. Senior. 1995. On surface temperature, greenhouse gases and aerosols: Models and observations. **Journal of Climate** 10: 2.364-2.386.

MONTEIRO, Flavia Pessoa. **ClasSIS: uma metodologia para classificação supervisionada de imagens de satélite em áreas de assentamento localizados na Amazônia**. Belém: UFPA 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

MORAES, Elisabete Caria. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Apostila, capítulo 1. São José dos Campos: INPE 2011. INPE-8984-PUD/62.

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Universidade Federal de Viçosa. Editora UFV. 2º ed. Viçosa: 2003.

NASCIMENTO, Cristo; HOMMA, Alfredo. **Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental-Documents (INFOTECA-E), 1984.

RODRIGUEZ, Ana Cristina Machado. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados na Análise da Legislação Ambiental no Município de São Sebastião (SP)**. São

Paulo: USP. 2005. Dissertação da pos-graduação em geografia humana do departamento de geografia da faculdade de filosofia, letras e ciências humanas da universidade de São Paulo.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Revista Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSOT, Nelson Carlos *et al.* **Integração de imagens de sensores de microondas e ópticos para fins de mapeamento e classificação de reflorestamentos no sul do Brasil**. Florianópolis: UFSC. 2001. Tese apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

SALATI, Eneas.; RIBEIRO, Maria de Nazaré Góes. **Floresta e Clima**. SUPL. ACTA AMAZÔNICA 9(4 ): 15-22. 1979.

SANTOS, Renato Prado dos. **Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002-2007): uma análise econométrica e espacial**. Brasília: UNB. 2010. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília.

SANTOS, Marcelo Geison. **Evolução do desmatamento em áreas protegidas sob influência da rodovia BR-319, na região de Vila Realidade, Humaitá, Amazonas**. Manaus: INPA. 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão de Áreas Protegidas). Programa de Pós-Graduação em Gestão de Áreas Protegidas na Amazônia – MPGAP.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio São João, RJ. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 411-426, 2013.

SILVA, Maria do Socorro Rocha. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: Contribuição para o enquadramento e preservação**. Manaus: UFAM. 2013. 199 f. TESE (Doutorado em Química) Programa de Pós-Graduação em Química – UFAM.

SOUZA FILHO, Carlos Roberto *et al.* Detecção de exsudações de hidrocarbonetos por geobotânica e sensoriamento remoto multi-temporal: estudo de caso no Remanso do Fogo (MG). **Brazilian Journal of Geology**, v. 38, n. 2, p. 228-243, 2008.

SOUSA, Isaque dos Santos. **A Ponte Rio Negro e a Reestruturação do Espaço na Região Metropolitana de Manaus: um olhar a partir de Iranduba e Manacapuru**. Manaus: Editora Reggo-UEA Edições, 2015.

SOUSA, Isaque dos Santos. **A ponte Rio Negro e a Região Metropolitana de Manaus: adequações no espaço urbano-regional à reprodução do capital**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STEFFEN, Carlos Alberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. INPE. Divisão de Sensoriamento Remoto. s.d. Disponível em:<  
<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#:~:text=Os%20sat%>

C3%A9lites%20de%20sensoriamento%20remoto,sat%C3%A9lite%20CBERS%20na%20Figura%207> Acesso em 12 de mar. de 2022.

STEINKE, Ercília Torres. **Climatologia Fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

TURQUETTI, Gabriela Nunes. **Caracterização geofísica da evolução de ilhas e canais de rios anabranching**: estudo de caso em um trecho do rio Solimões (Am). Brasília: 2019. Dissertação (Mestrado em Geociências) Programa de Pós-Graduação em Geociências e Geodinâmica. UNB.

USGS - U.S. Geological Survey. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Sioux Falls, South Dakota: Department of the Interior U.S. Geological Survey. LSDS-1574 Version 5.0. 2019. Disponível em: < <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> >. Acesso em 24 de mar. de 2022.

VALE, Jones Remo Barbosa *et al.* Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 13, p. 26-44, 2018.

VAREIRO, Raphael Borgias. *et al.* **Avaliação de características agrônômicas em soja por sensor ativo de vegetação e câmera multiespectral embarcada em aeronave remotamente pilotada**. Santa Maria: 2020. 90 f. Dissertação (mestrado) Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria: RS.

VASCONCELOS, Mônica Alves *et al.* Análise do uso e da cobertura da terra da bacia do tarumã-açu: um olhar para a sustentabilidade. **Terceira Margem Amazônia**, v. 5, n. 13, 2019.

VASCONCELOS, Pedro Guilherme de Andrade. **Determinantes do desmatamento na Amazônia Brasileira**. Brasília: 2015. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília – UNB.

VIECILI, Fábio Luis. **Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento Temático do Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Caeté, Município de Alfredo Wagner, SC**. Florianópolis: 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UFSC.

VIEIRA, Antônio Fábio Guimarães. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM)**: principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. Santa Catarina: 2008. Tese (Doutor em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Utilização e Conservação dos Recursos Naturais, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

WENG, Q. et al. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**. p. 467 – 483, 2004.