

## **Uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para estimativa de áreas vegetadas e não vegetadas nos bairros de maior crescimento em São Luís-MA, durante os anos de 2000 e 2010**

*Use of Remote Sensing and Geoprocessing to estimate vegetated and non-vegetated areas in the fastest growing neighborhoods in São Luís-MA, during the years 2000 and 2010*

*Uso de Teledetección y Geoprocésamiento para estimar áreas con y sin vegetación en los barrios de más rápido crecimiento en São Luís-MA, durante los años 2000 y 2010*

Recebido: 13/04/2021 | Revisado: 20/04/2021 | Aceito: 21/04/2021 | Publicado: 06/05/2021

**Ronald Costa Garcia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8907-8693>  
Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
E-mail: [ronaldgarcia\\_@live.com](mailto:ronaldgarcia_@live.com)

**Rodrigo da Cruz de Araujo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1937-3128>  
Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
E-mail: [araujo.rodrigo@ufma.br](mailto:araujo.rodrigo@ufma.br)

### **Resumo**

Na cidade de São Luís do Maranhão houve um crescimento populacional de 17% durante os anos de 2000 à 2010. O crescimento urbano decorrente de aumento populacional afeta a cobertura vegetal, em algumas áreas essa alteração pode ser positiva devido ao aumento da vegetação ou negativa devido a perda de vegetação. Uma vez que a expansão urbana afeta diretamente as áreas vegetadas faz-se interessante a realização de mapeamentos constantes da cobertura vegetal. Diante disso, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento aliados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) podem ser alternativas viáveis para o estudo sobre o vigor vegetativo de determinadas regiões por meio do Índice por Diferença Normalizada (NDVI), como forma de estimar a alteração na vegetação decorrente da expansão urbana entre os anos de 2000 e 2010, na capital maranhense. Neste estudo, identificou-se os quinze bairros da cidade que obtiveram maior crescimento populacional, além disso os bairros foram classificados de acordo com os padrões de ocupações. A partir das imagens de satélites provenientes do sensoriamento remoto, aliadas com as técnicas de geoprocessamento foi possível estimar as áreas vegetadas e não vegetadas dos bairros de maior crescimento da cidade de São Luís-MA, nos anos de 2000 e 2010. Sete bairros apresentaram perdas de vegetação ao longo do período, outros sete apresentaram um aumento das áreas de vegetação e um bairro não apresentou variação.

**Palavras-chave:** Crescimento populacional; Sensoriamento remoto; Geoprocessamento.

### **Abstract**

In the city of São Luís do Maranhão there was a population growth of 17% during the years 2000 to 2010. The urban growth resulting from populational growth affects the vegetation cover, in some areas this change may be positive due to the increase in vegetation or negative due to the loss of vegetation. Since the urban expansion directly affects the vegetated areas, it is interesting to carry out a constant mapping of the vegetation cover. Therefore, remote sensing and geoprocessing combined with a Geographic Information System (GIS) can be viable alternatives for studying the vegetative vigor of certain regions through the Normalized Difference Index (NDVI), to estimate the change in the vegetation resulting from the urban expansion between the years 2000 and 2010, in the capital of Maranhão. In this study, we identified the fifteen neighborhoods in the city that achieved the highest population growth, in addition, the neighborhoods were classified according to occupancy patterns. From satellite images from remote sensing, combined with geoprocessing techniques, it was possible to estimate the vegetated and non-vegetated areas of the fastest-growing neighborhoods in the city of São Luís-MA, in the years 2000 and 2010. Seven neighborhoods showed losses of vegetation over the period, another seven showed an increase in vegetation areas, and one neighborhood showed no variation.

**Keywords:** Population growth; Remote sense; Geoprocessing.

### **Resumen**

En la ciudad de São Luís do Maranhão hubo un crecimiento poblacional del 17% durante los años 2000 a 2010. El crecimiento urbano resultante del crecimiento poblacional afecta la cobertura vegetal, en algunas áreas este cambio

puede ser positivo debido al aumento de la vegetación o negativo debido a la pérdida de vegetación. Dado que la expansión urbana afecta directamente a las áreas vegetadas, es interesante realizar un mapeo constante de la cobertura vegetal. Por tanto, la teledetección y el geoprocésamiento combinados con un Sistema de Información Geográfica (SIG) pueden ser alternativas viables para estudiar el vigor vegetativo de determinadas regiones a través del Índice de Diferencia Normalizada (NDVI), como una forma de estimar el cambio en la vegetación resultante de la urbanización. expansión entre los años 2000 y 2010, en la capital de Maranhão. En este estudio, identificamos los quince barrios de la ciudad que lograron el mayor crecimiento poblacional, además los barrios fueron clasificados según patrones de ocupación. A partir de imágenes satelitales de teledetección, combinadas con técnicas de geoprocésamiento, fue posible estimar las áreas con y sin vegetación de los barrios de más rápido crecimiento en la ciudad de São Luís-MA, en los años 2000 y 2010. Siete barrios mostraron pérdidas de vegetación. durante el período, otros siete mostraron un aumento en las áreas de vegetación y un barrio no mostró variación.

**Palabras clave:** Crecimiento de población; Teledetección; Geoprocésamiento.

## 1. Introdução

As construções de maneira geral podem causar grandes impactos no meio ambiente desde desflorestamentos, depósitos de resíduos descartados incorretamente, impermeabilização do solo, poluição atmosférica, entre outros. Assim, quando não há um controle dos números de edificações que estão sendo construídas, o problema ambiental tende a aumentar. (Leite, Pinheiro, & Pamboukian, 2019)

Ocupações irregulares, na maioria das vezes, provocam mudanças no ecossistema local e na bacia hidrográfica, o que impacta no clima da região afetada por essas ocupações. Geralmente algumas residências se localizam em regiões próximas à cursos d'água, o que aumenta o número de casos de inundações e alagamentos. Outras residências se localizam em áreas de encostas, o que aumenta o número de casos de deslizamento de massa. Então, o problema ambiental torna-se também uma questão social (Louzeiro, 2018)

De acordo com Macedo (2005 *apud* Louzeiro, 2018) 28,3% da população da capital do Maranhão vive em áreas de risco, que são caracterizadas por serem locais impróprios para se construir residências, sendo que esta porcentagem aumentou nos últimos anos devido ao crescimento populacional. De acordo com a Defesa Civil (2019), a cidade de São Luís possui cerca de 60 pontos de áreas de risco, e esse risco está associado a deslizamento de massas, inundações e alagamentos.

Para atenuar esses fatos, o planejamento urbano é direcionando pelo plano diretor da cidade, obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, o qual determina o uso e ocupação do solo e delimita as áreas onde podem ou não haver construções residenciais. No entanto, na prática não há uma verificação rígida por parte do poder público para verificar se as edificações estão sendo construídas em locais apropriados. Essa falta de fiscalização pode gerar, portanto, problemas ambientais como a retirada de cobertura vegetal, impermeabilização do solo, deslizamentos de terra, inundações, alagamentos, entre outros problemas.

De acordo com Ferreira (2002), *apud* Machado (2013), na ausência de planejamento urbano, a expansão urbana acelerada e não controlada das cidades acarreta em uma degradação socioespacial contínua, o que gera uma série de consequências negativas para a população influenciando na qualidade de vida dos habitantes e no espaço público.

Alves (2004) corrobora com o exposto anteriormente, afirmando que o crescimento urbano decorrente das aglomerações urbanas afeta também a cobertura do solo, pois o solo que antes permitia a infiltração das águas pluviais, agora se apresenta como uma superfície impermeável, o que gera um aumento da velocidade de escoamento superficial da água da chuva. E isso impacta diretamente nos sistemas de drenagem, já que os sistemas acabam não suportando esse aumento.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto e o geoprocésamiento podem ser excelentes ferramentas para as gestões municipais, estaduais e federais, pois permitem o monitoramento de grandes regiões, o que possibilita o mapeamento do uso e ocupação do solo e a quantificação dos elementos do espaço urbano e seus reflexos ambientais. (Meneses & Almeida, 2012)

Diante disso, é de suma importância planejar o crescimento urbano e segundo Machado (2013) é necessário fazer mapeamentos constantes e extensivos para atualização da base de dados, principalmente de dados referentes à localização das

áreas de risco, áreas ocupadas de maneira irregular, espaços públicos, zonas de proteção ambiental, perda de vegetação, expansão urbana, entre outros. De acordo com Freire (2010) *apud* Machado (2013) as alterações geográficas no espaço urbano requerem formas mais baratas de se atualizar e produzir informações espaciais de média e grande escala para fins de planejamento urbano, com isso o sensoriamento remoto e o geoprocessamento podem ser alternativas viáveis, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista técnico, desde que a leitura e interpretação dos dados sejam feitas por pessoas capacitadas. (Almeida, 2010)

De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) a vegetação é muito afetada pelas ações antrópicas, e ao mesmo tempo é um indicador de qualidade ambiental de determinada área. Por conseguinte, analisar o estado da vegetação por meio do geoprocessamento, a partir de informações provenientes do sensoriamento remoto, pode ser uma maneira de compreender as causas dos problemas decorrentes das ocupações desordenadas e suas consequências como, por exemplo, a perda de vegetação.

A vegetação desempenha um papel fundamental no meio ambiente, pois quando a cobertura vegetal é retirada, para as construções, tais como pavimentações e edificações, o solo fica exposto e ocorre um maior escoamento superficial da água e, conseqüentemente, pode levar a feições erosivas no solo, acarretando problemas como alagamentos e deslizamentos de massa. (Nunes & Roig, 2018).

De acordo com Louzeiro (2018) o crescimento populacional provoca cada vez mais alterações nas paisagens naturais. E estas alterações acabam por transformar as paisagens naturais em paisagens artificializadas. As ocupações em determinadas áreas como áreas próximas à cursos d'água e áreas de encosta, por exemplo, podem potencializar riscos tanto do ponto de vista ambiental, quanto riscos relacionados à integridade física e material das pessoas, que nesses locais residem.

Não é recomendável, portanto, a construção de residências nessas regiões, porque são áreas de risco, e muitas vezes são locais com topografia acentuada, com solos não estáveis ou são locais próximos a cursos d'água, e geralmente as construções não são acompanhadas por um responsável técnico habilitado, não havendo também um estudo preliminar da área. Além desses motivos, essas regiões podem sofrer com eventos naturais, tais como chuvas fortes o que aumenta as chances de alagamentos e deslizamentos de massa. (Leite, Pinheiro, & Pamboukian, 2019). Porém, devido à alta valorização dos preços dos terrenos na cidade e o baixo poder aquisitivo de muitas pessoas, torna-se cada vez maior o número de habitantes em áreas de risco, pois há uma facilidade quanto ao acesso. (Louzeiro, 2018).

De acordo com Nóbrega (2007 *apud* Machado, 2013), o sensoriamento remoto pode oferecer ferramentas para a produção do mapeamento, análise e monitoramento dos sistemas urbanos. Dentro desse contexto, se pode verificar a existência de assentamentos em áreas de proteção ambiental permanente e a partir disso, formular políticas públicas para atender necessidades das pessoas que vivem nessa área.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no município de São Luís do Maranhão houve um crescimento populacional de 17% entre os anos de 2000 e 2010. Segundo o último censo demográfico, realizado em 2010 pelo IBGE, a população da capital era de 1.014.837. E a estimativa da população em 2020 segundo o IBGE é de 1.108.975 habitantes.

As ocupações no solo da capital maranhense se intensificaram em algumas regiões, devido ao crescimento dos setores portuários, industrial e de construção civil. No entanto esse crescimento não foi direcionado por um sistema de planejamento urbano eficiente, o que possibilitou um aumento de ocupações espontâneas ao longo de várias regiões da cidade, e conseqüentemente a alteração na vegetação. (Silva & Silva, 2016)

Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo estimar a alteração na vegetação dos bairros de maior crescimento populacional da cidade de São Luís-MA. Para a realização deste estudo identificou-se os 15 bairros da capital maranhense que apresentaram o maior crescimento populacional, através de pesquisas bibliográficas. E a partir de técnicas de

geoprocessamento e sensoriamento remoto, por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi estimada às áreas vegetadas e não vegetadas de cada bairro analisado. Além disso, identificou-se quais foram as variações entre os anos de 2000 e 2010.

## 2. Metodologia

O presente trabalho é uma pesquisa exploratória de caráter quantitativo, pois visa estimar às áreas vegetadas e não vegetadas dos bairros de maior crescimento de São Luís. Pereira *et al.* (2018) afirmam que os métodos quantitativos visam o enfoque matemático, ou seja, a coleta de dados numéricos a respeito de determinado tema. Esses dados numéricos podem ser necessários para tomadas de decisões gerenciais por parte do poder público, ou servir de base referencial para outras pesquisas a serem desenvolvidas.

A coleta de dados e informações presentes no artigo aconteceu por meio de pesquisas bibliográficas, a respeito de temas relacionados ao crescimento urbano, sensoriamento remoto e geoprocessamento, realizadas através de artigos científicos, livros e sites. Ainda de acordo com Pereira *et al.* (2018), as pesquisas bibliográficas fornecem dados a respeito do tema estudado, e são muito relevantes para o desenvolvimento dos resultados e suas análises.

### *Áreas de estudo*

A escolha das áreas de estudo consistiu-se em identificar os bairros que apresentaram maior crescimento populacional durante os anos de 2000 e 2010, além de classificá-los de acordo com o padrão de ocupação. A partir dessa seleção de bairros foi verificado se houve alteração nas áreas vegetadas e não vegetadas de cada um deles.

Na Tabela 1 são apresentados os 15 bairros que obtiveram os maiores crescimentos populacionais na cidade de São Luís-MA durante os anos de 2000 e 2010. Nesta tabela é apresentado o total de residentes de cada ano, o crescimento populacional entre os dois anos, a área de cada bairro segundo o Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural INCID (2010), além do adensamento populacional dos dois anos. Segundo Rosário e Araújo (2019) o adensamento populacional é a relação entre a quantidade de residentes em determinada região dividida pela área dessa região.

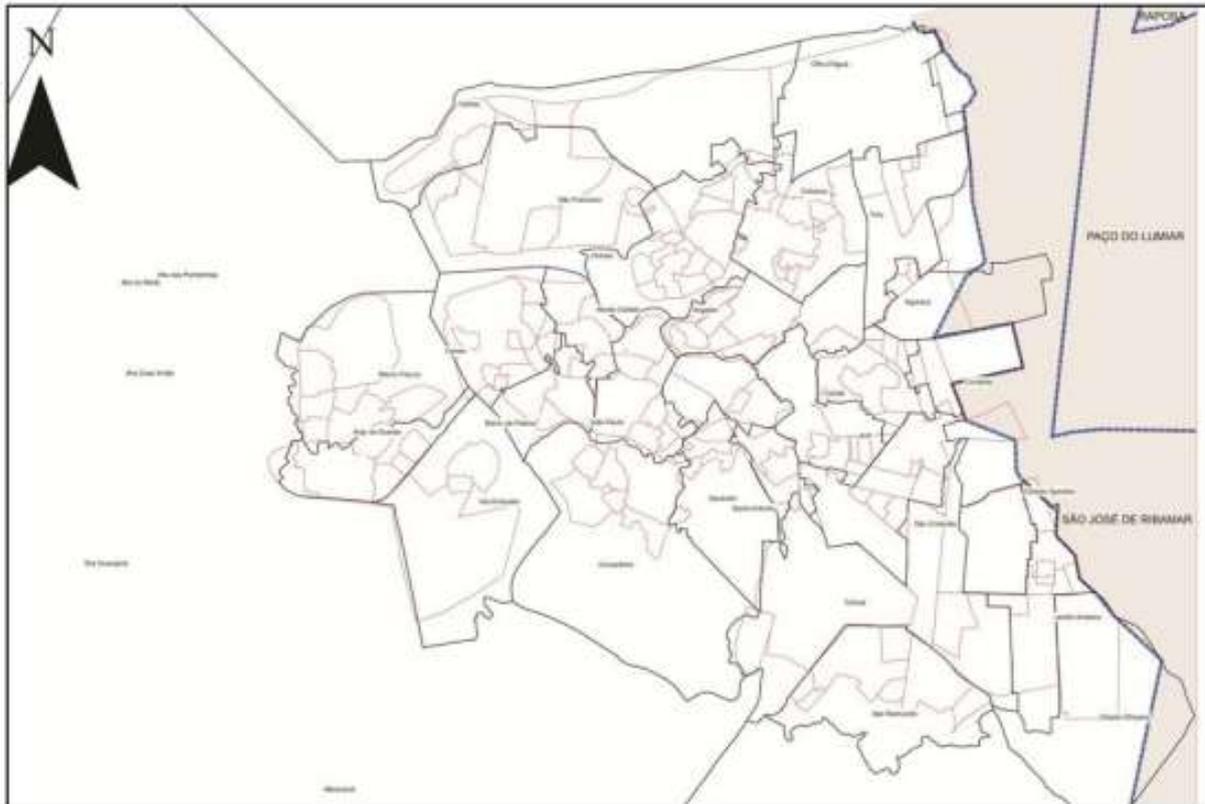
**Tabela 1:** Bairros de Maior Crescimento de São Luís entre 2000 e 2010.

Bairros	Residentes (2000)	Residentes (2010)	Crescimento Populacional (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Adensamento (2000)	Adensamento (2010)
Jardim América Central	2339	4519	93,2	0,205768	11367,1708	21961,6267
Vila Airton Sena	560	2304	311,43	0,106667	5249,9836	21599,9325
Salinas do Sacavém	2243	4353	94,07	0,233202	9618,2709	18666,2207
Recanto dos Pássaros	1179	2277	93,13	0,139615	8444,6514	16309,1358
São Raimundo	3222	6708	108,19	0,663438	4856,5201	10110,9674
Jaracaty	1334	3071	130,21	0,31838	4189,9617	9645,7064
Chácara Brasil	953	2535	166	0,324064	2940,7771	7822,5289
Jardim das Oliveiras/Ipem Turu/ Residencial Turu/ Vila União/ Recanto Fialho	10405	31300	200,82	5,157628	2017,4002	6068,6812
Angelim	5597	12823	129,1	2,231315	2508,3863	5746,8354
Santa Rosa/Planalto Turu II/ Vivendas do Turu	3253	6510	100,12	1,691303	1923,3691	3849,1033
Jardim Eldorado	1219	2327	90,89	0,814561	1496,5116	2856,7535
Vila Vitória	1386	3609	160,39	1,782919	777,3769	2024,2086
Calhau/Recanto dos Nobres	5858	11200	91,19	8,819412	664,2166	1269,9259
Ponta do Farol/São Marcos	659	2754	317,91	2,48322	265,3812389	1109,043903
Pindorama	436	848	94,5	1,33497	326,5990996	635,2202671

Fonte: Rosário e Araújo (2019). Adaptado.

Ainda de acordo com Rosário e Araújo (2019), não existe uma delimitação exata dos limites dos bairros da capital maranhense. O IBGE utiliza um critério com base nos setores censitários, porém um mesmo setor pode abranger mais de um bairro, com isso esse critério não é tão adequado para se trabalhar com as áreas dos bairros. No entanto, o Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural (INCID), organizou os bairros de São Luís-MA em distritos, e para este estudo considerou-se a delimitação proposta pelo INCID com base nos dados disponíveis pela Secretária de Saúde do Estado do Maranhão (SES) (Figura 1).

**Figura 1:** Mapa de distritos e bairros da cidade de São Luís-MA.

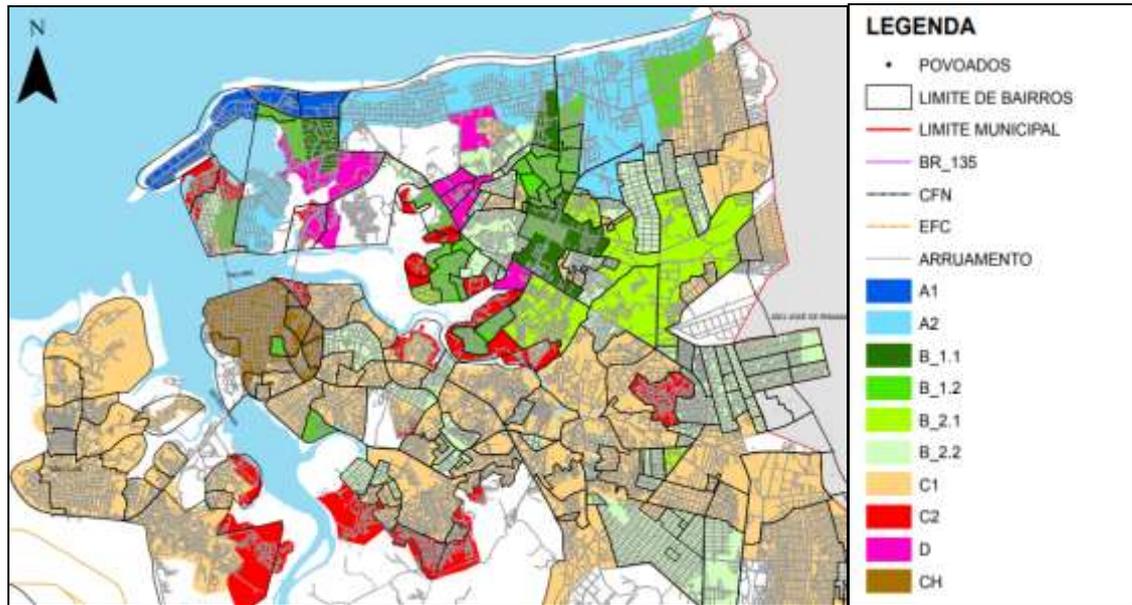


Fonte: INCID (2014), adaptado por Rosário e Araújo (2019).

Observa-se da Tabela 1 que os bairros Jardim América Central, Vila Airton Sena e Salinas do Sacavém apresentaram grandes taxas de adensamento, o que indica que são bairros, segundo Rosário e Araújo (2019), que não apresentam potencialidade para expansão de maneira adequada e sustentável. Vale ressaltar ainda que a alta taxa de adensamento pode refletir em maior alteração na vegetação durante esse período.

O outro critério a ser considerado para escolha das áreas a serem analisadas foi de que os bairros deveriam ser classificados de acordo com o padrão de ocupação (Figura 2).

**Figura 2:** Mapa de padrões de ocupações de bairros da cidade de São Luís-MA.



Fonte: INCID (2010). Adaptado.

Os padrões referidos no mapa sintetizam condições tais como dimensão média dos loteamentos na área, tipo de uso (residencial, comercial, industrial), e se ocupação foi regular ou irregular (Tabela 2).

**Tabela 2:** Legenda sucinta dos padrões de ocupação dos bairros de São Luís-MA.

<b>A1</b>	Loteamentos regulares com média de áreas maiores que 1000 m <sup>2</sup> com presença de conjuntos residenciais multifamiliares verticais.
<b>A2</b>	Loteamentos regulares com média de área entre 450 m <sup>2</sup> a 1000 m <sup>2</sup> com presenças de conjuntos residenciais e predominância de residências unifamiliar
<b>B_1.1</b>	Loteamentos regulares com média de áreas entre 250m <sup>2</sup> e 360 m <sup>2</sup> com residências predominantemente multifamiliar vertical.
<b>B_1.2</b>	Loteamentos regulares com média de áreas entre 250m <sup>2</sup> e 360 m <sup>2</sup> com residências predominantemente unifamiliar
<b>B_2.1 e B_2.2</b>	Loteamentos regulares com média de áreas entre 250m <sup>2</sup> e 360 m <sup>2</sup> com residências predominantemente unifamiliar e alguns conjuntos habitacionais verticais.
<b>C1</b>	Ocupações irregulares com loteamentos com média de áreas menores que 125 m <sup>2</sup> .
<b>C2</b>	Ocupações irregulares com loteamentos com média de áreas maiores que 125 m <sup>2</sup> .
<b>D</b>	Loteamentos para uso comercial e institucional.
<b>CH</b>	Loteamentos com construções históricas.

Fonte: INCID (2010). Adaptado.

A partir desse mapa e da legenda sucinta verificou-se quais seriam os bairros da Tabela 1 que possuíam ocupações irregulares. Utilizou-se ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para estudo dessas áreas a partir do Índice por Diferença Normalizada (NDVI), como forma de estimar a alteração na vegetação decorrente da expansão urbana entre os anos de 2000 e 2010, na capital maranhense.

De acordo com Meneses e Almeida (2012) o índice NDVI já foi utilizado em vários estudos de cunho ambiental, para a determinação da alteração de vegetação de uma determinada região ao longo do tempo. Segundo Souza *et al.* (2017) o princípio do NDVI está relacionado à absorção da radiação na região espectral do vermelho pelas clorofilas, presentes nas células das plantas, e ao espalhamento ou reflectância da radiação na região do infravermelho próximo através das folhas das vegetações. Esses valores são expressos pela equação:

$$NDVI = \frac{I_{vp} - V}{I_{vp} + V} \quad (1)$$

Onde:

$I_{vp}$ : valor de reflectância no infravermelho próximo.

$V$ : valor de reflectância na banda do vermelho.

Segundo Meneses e Almeida (2012) essa equação gera valores entre -1 a 1. Valores maiores que zero indicam presença de vegetação e valores menores do que zero representam outros objetos como solo exposto, área urbana ou corpos hídricos. Para realizar a operação do índice NDVI é necessário um software SIG, e os valores de reflectância são representados pelas bandas dos sensores dos satélites. Com uso do SIG é possível fazer a distinção entre os diferentes materiais, identificar a área de urbanização e indicar o vigor vegetativo da região em análise. O vigor vegetativo é importante para discernir se houve um aumento ou diminuição da cobertura vegetal e pode indicar se essa vegetação está saudável ou não.

Foram utilizadas imagens do satélite TM/Landsat 5. Utilizou-se o software QGIS Desktop 3.18.1, que é um software SIG, para a elaboração de alguns mapas apresentados no artigo, na delimitação das áreas por polígonos e para o cálculo do índice NDVI utilizou-se a calculadora raster do QGIS, através da manipulação das bandas do satélite.

O QGIS é um software livre desenvolvido pela Open Source Geospatial Foundation (OSGEO), no qual se pode trabalhar com imagens raster, dados matriciais, vetoriais, e confecção de mapas temáticos a partir das informações georreferenciadas. (Leite, Pinheiro, & Pamboukian, 2019).

Utilizou-se dados vetoriais em formato *shapefile* obtidos junto ao site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), dados como limites dos municípios do estado do Maranhão. Para a confecção da delimitação das áreas de estudo, utilizou-se um arquivo em formato *kml* obtido junto ao portal eletrônico da Secretária de Saúde do Estado do Maranhão (SES), que contém os limites dos bairros da cidade de São Luís, os limites dos bairros foram estabelecidos pelo INCID (20100).

As cenas do TM/Landsat 5 foram obtidas no site U.S. Geological Survey (<https://glovis.usgs.gov/>), com cobertura de nuvens inferior a 10%. As imagens foram utilizadas para o cálculo do NDVI e realizou-se um comparativo entre os anos de 2000 e 2010. As imagens passaram por um processo de correção de topo atmosférica utilizando um plugin do QGIS 3.18.1 chamado Semi-automatic classification plugin (SCP). De acordo com Diogo (2016) a correção de topo de atmosfera é essencial para análises utilizando imagens de satélite, pois as partículas presentes na atmosfera prejudicam o fluxo da radiação eletromagnética vinda do sol o que causa interferências nos resultados, a chamada interferência atmosférica.

De acordo com Pamboukian (2015) o SCP é um plugin, que permite a classificação semiautomática de imagens de satélites, nesse plugin também pode ser realizado o download de imagens além da correção de topo atmosférica utilizando o

método DOS (Dark Object Subtraction) desenvolvido por Chavez (1988) criado para diminuir as interferências atmosféricas decorrente do espalhamento de partículas presentes na atmosfera. (Almeida *et al.*, 2015)

O índice de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, de acordo com algum procedimento pré-determinado, ou seja, está associado a uma operação aritmética entre bandas de satélites cuja finalidade é apresentar e realçar as características da vegetação como a biomassa, o vigor vegetativo e o índice de área foliar (Moreira, 2003).

Primeiramente utilizou-se as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo para calcular o índice NDVI, cada satélite possui bandas específicas para esse tipo de procedimento. Para o cálculo do NDVI das imagens do TM/Landsat 5 utilizou-se as bandas B03 (vermelho) e B04 (infravermelho próximo). Utilizou-se a calculadora *raster* do Qgis para calcular o índice. Logo após calculado o índice aplicou-se uma configuração de falsa cor na imagem, para evidenciar os alvos, já que o resultado do NDVI é dado em níveis de cinza.

O NDVI é uma imagem *raster* e após ser calculado para cada ano em estudo, transformou-se essa imagem em um dado vetorial, utilizando um algoritmo do Qgis, chamado binarização a partir de uma ferramenta chamada TheresholdVect, um plugin de manipulação de dados, no qual é possível transformar dados raster em dados vetoriais. A binarização das imagens, foi necessária para fazer a diferença entre a área vegetada da área não vegetada, pois esse processo gera um dado que possui somente dois valores, 1 e 0, sendo 1 toda área vegetada e 0 a área não vegetada.

Após fazer a binarização das imagens, o resultado foi uma imagem raster, que foi transformada em uma imagem vetorizada, pois assim foi possível quantificar às áreas vegetadas e as áreas não vegetadas. Logo depois, realizou-se a união das camadas de limites dos bairros com a camada vetorizada gerada a partir da binarização. De acordo com Brinkhoff *et al.* (1994) a união de camadas tem como objetivo fazer a união de atribuições geométricas de diferentes feições desde que estas ocupem o mesmo local geográfico, ou seja, unir características espaciais de ambas as feições em uma camada única. Todas as camadas vetorizadas, passaram pelo processo de corrigir geometrias, com o objetivo de evitar erros no desenvolvimento do processo.

### 3. Resultados e Discussão

A partir do Mapa de Padrões de ocupação foi elaborada a Tabela 3 com os bairros e seus respectivos padrões de ocupações:

**Tabela 3:** Classificação dos bairros de maior crescimento de acordo com os padrões de ocupações.

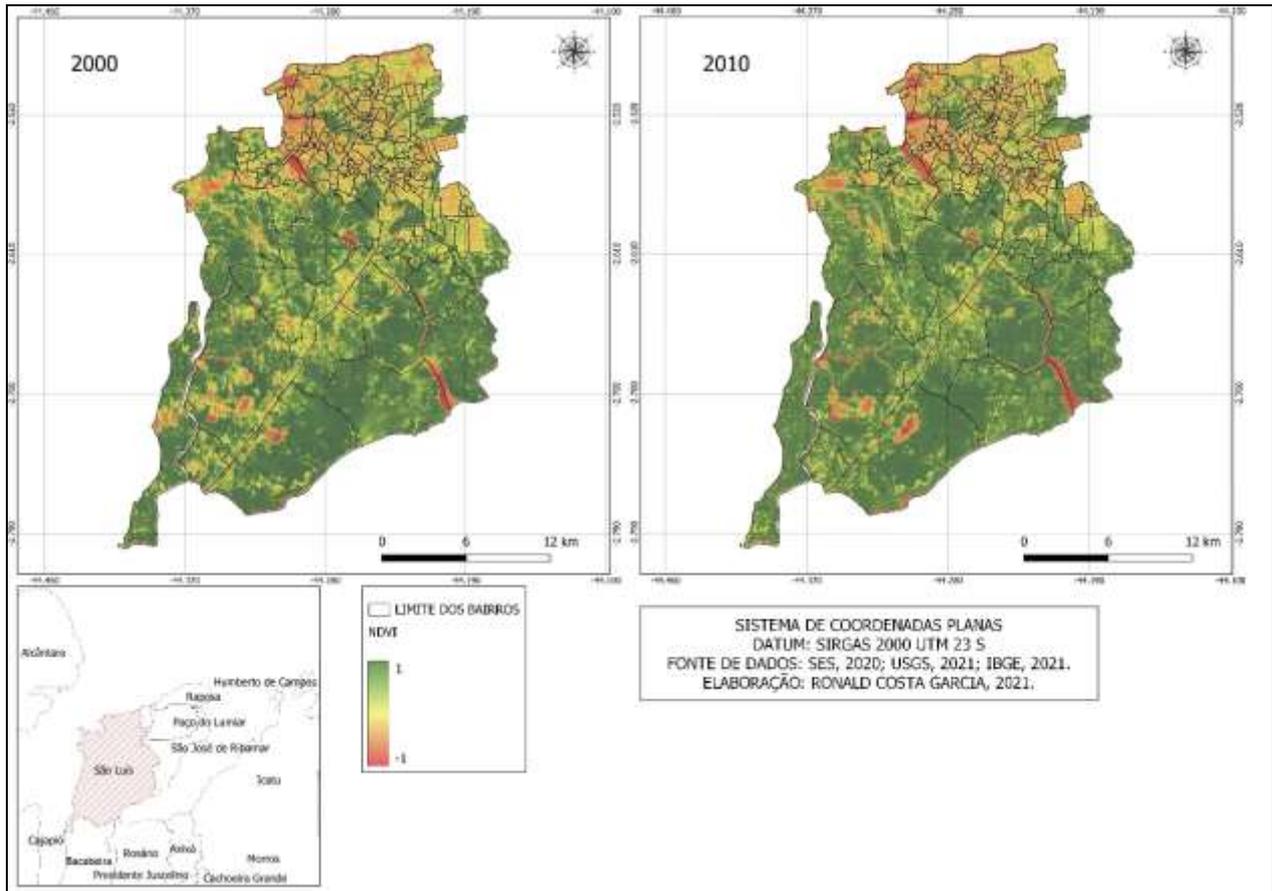
<b>Bairros</b>	<b>Padrão de Ocupação</b>
Jardim América Central	C1
Vila Airton Sena	C1
Salinas do Sacavém	C1
Recanto dos Pássaros	C1
São Raimundo	C1
Jaracaty	D e C2
Chácara Brasil	B_2.2
Jardim das Oliveiras/Turú/Ipem/Residencial Primavera Turú/ Vila União Recanto Fialho	B_2.2, B_2.1, C1
Angelim	B_1.2
Santa Rosa/Planalto Turu II/Vivendas do Turu	B_2.2, B_2.1, C1
Jardim Eldorado	B_2.2
Vila Vitória	C2
Calhau/Recanto dos Nobres	A2, D
Ponta do Farol/São Marcos	A1
Pindorama	B_2.2

Fonte: Autores (2021).

Como abordado anteriormente, os padrões de ocupações refletem as origens das ocupações segundo o INCID (2010), sendo os bairros C1 e C2 caracterizados por possuírem ocupações irregulares e o restante são os bairros caracterizados por possuírem ocupações regulares. Existem também bairros que possuem mais de um padrão de ocupação, sendo o bairro Jaracaty um exemplo, pois além de possuir ocupações irregulares, também é caracterizado por ser uma região com loteamentos de uso comercial e institucional.

A Figura 3 apresenta o mapa referente ao NDVI nos anos de 2000 e 2010. Como abordado anteriormente, quanto mais próximo de 1 maior é o vigor vegetativo, ou seja, presença de vegetação.

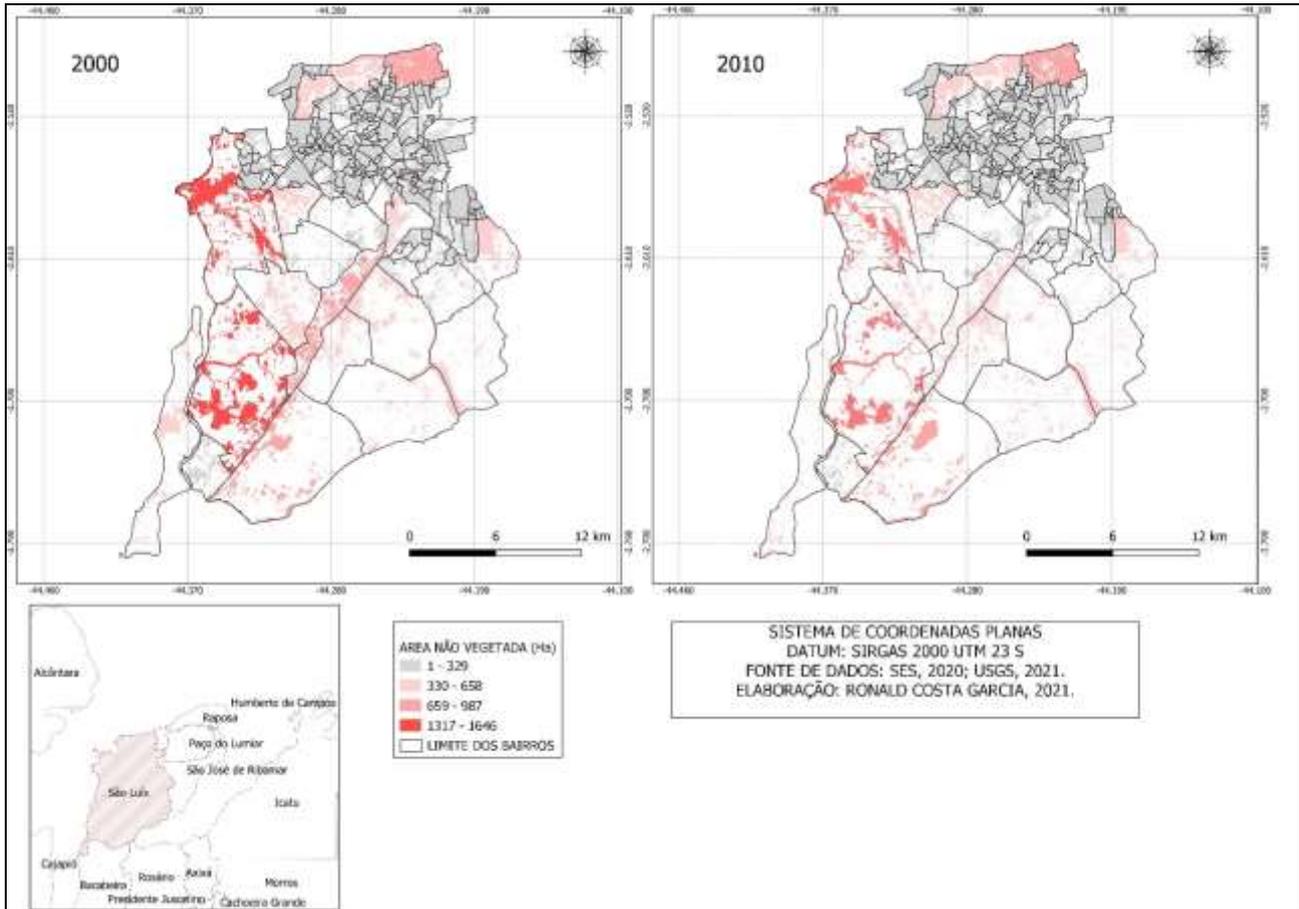
**Figura 3:** Mapa do NDVI da cidade de São Luís-MA, gerado a partir das bandas 3 e 4 do satélite LANDSAT.



Fonte: Autores (2021).

Em alguns bairros podem ser visualizadas a diferença de NDVI nos dois anos, porém para se estimar a diferença de vegetação e de áreas não vegetadas nos dois períodos não basta somente realizar a análise visual: é necessário realizar a vetorização das imagens para quantificar as áreas de interesse. A Figura 4 apresenta o mapa temático das áreas não vegetadas no ano de 2000 e 2010, esse mapa foi confeccionado a partir da vetorização da imagem do NDVI por meio dos processos de binarização.

**Figura 4:** Mapa de Áreas não Vegetadas dos bairros da cidade de São Luís-MA.



Fonte: Autores (2021).

Os resultados obtidos a partir da vetorização da imagem evidenciam a perda de vegetação em hectares (utilizou-se essa unidade de medidas para melhor visualização dos resultados). Nos 15 bairros analisados a área não vegetada nos dois anos ficou entre 1 (Ha) e 329 (Ha).

O mapa temático gerado, Figura 4, mostra que em algumas regiões houve o aumento de feições mais vermelhas, o que evidencia um crescimento de áreas não vegetadas. Essas áreas não vegetadas podem ser construções, corpos hídricos ou solo exposto. A Tabela 5 apresenta os resultados referentes às Áreas Não Vegetadas nos dois períodos.

**Tabela 5:** Áreas não vegetadas dos Bairros de maior crescimento de São Luís-MA.

<b>BAIRROS</b>	<b>AREA NÃO VEGETADA 2000 (Ha)</b>	<b>AREA NÃO VEGETADA 2010 (Ha)</b>
Jardim América Central	18,292	18,1119
Vila Airton Sena	36,0067	19,1204
Salinas do Sacavém	57,2884	42,9152
Recanto dos Pássaros	14,422	14,4223
São Raimundo	116,5686	109,605
Jaracaty	36,1324	34,7026
Chácara Brasil	54,8196	57,4965
Jardim das Oliveiras/Turú/Ipem/Residencial/Primavera Turú/Vila União Recanto Fialho	80,9861	83,9357
Angelim	131,442	130,8933
Santa Rosa/Planalto Turu II/Vivendas do Turu	107,9142	80,6983
Jardim Eldorado	79,9459	85,4022
Vila Vitória	58,8544	22,7561
Calhau/Recanto dos Nobres	514,3926	538,2654
Ponta do Farol/São Marcos	96,6438	99,4458
Pindorama	66,0165	87,094

Fonte: Autores (2021).

Percebe-se que em alguns bairros houve uma diminuição dos valores de Áreas não vegetadas entre os dois anos, isso pode estar relacionado com a presença de nuvens na imagem de 2000, ou então como afirmam Meneses e Almeida (2012) os sensores orbitais sofrem com interferências geométricas devido ao posicionamento do sensor, instabilidade dos eixos da plataforma, curvatura da terra e campo de visada. Por meio da ferramenta de correção geométrica do SIG Qgis é possível diminuir esses ruídos, porém não os eliminar por completo.

Além dos ruídos relacionados com as interferências decorrentes da geometria ou interferências atmosféricas, vale destacar que alguns bairros como o Calhau/Recanto dos Nobres, que tiveram um crescimento populacional de 91,19 %, também tiveram um crescimento relacionado à área não vegetada e segundo o INCID (2010) este bairro é caracterizado como um bairro de categoria A2 e D, ou seja, possui loteamentos entre 450 m<sup>2</sup> e 1000 m<sup>2</sup> além de ser uma região de classe alta e média alta com presença de vários condomínios residenciais e estabelecimentos comerciais, o que também contribuiu para o aumento das áreas não vegetadas.

A Tabela 6 apresenta as áreas vegetadas nos dois períodos além da variação na vegetação dos bairros de maior crescimento da cidade de São Luís, em alguns bairros ocorreram a perda de vegetação (variação negativa) e em outros bairros ocorreu uma alteração de vegetação positiva, ou seja, um ganho de vegetação.

**Tabela 6:** Áreas vegetadas e alteração na vegetação nos Bairros de maior crescimento de São Luís-MA.

<b>BAIRROS</b>	<b>AREA VEGETADA 2000 (Ha)</b>	<b>AREA VEGETADA 2010 (Ha)</b>	<b>VARIAÇÃO DE VEGETAÇÃO (Ha)</b>
Jardim América Central	0,0111	0,1912	0,1801
Vila Airton Sena	67,7809	84,6672	16,8863
Salinas do Sacavém	85,7839	100,1571	14,3732
Recanto dos Pássaros	0,0003	0	- 0,0003
São Raimundo	35,522	42,4856	6,9636
Jaracaty	18,069	19,4988	1,4298
Chácara Brasil	8,8279	6,1511	- 2,6768
Jardim das Oliveiras/Turú/Ipem/Residencial/Primavera Turú/ Vila União Recanto Fialho	20,0147	17,0652	- 2,9495
Angelim	82,9864	61,9089	- 21,0775
Santa Rosa/Planalto Turu II/Vivendas do Turu	65,6027	92,6953	27,0926
Jardim Eldorado	13,2752	7,8189	- 5,4563
Vila Vitória	25,2596	61,358	36,0984
Calhau/Recanto dos Nobres	233,8103	209,9375	- 23,8728
Ponta do Farol/São Marcos	7,395	4,5929	- 2,8021
Pindorama	82,9864	61,9089	- 21,0775

Fonte: Autores (2021).

O bairro que obteve maior perda de vegetação foi o Calhau/Recanto dos Nobres, e como abordado anteriormente foi o bairro que apresentou maior crescimento de áreas não vegetadas, o que pode estar relacionado diretamente ao crescimento urbano nessa região decorrente da construção de condomínios residenciais e estabelecimentos comerciais. Dentre os bairros de categoria C2, bairros que contém ocupações irregulares, a maior perda de vegetação foi no bairro Pindorama o que pode também estar associado às ações antrópicas nessa região. O bairro Recanto dos Pássaros apresentou uma variação muito pequena de vegetação entre o período de 2000 a 2010, além disso, não apresentou variação de áreas não vegetadas.

O bairro Ponta do Farol/São Marcos apresentou uma perda de vegetação de 2,80 (ha) e isto pode estar relacionado ao aumento do número de condomínios presentes na região entre os anos de 2000 e 2010. Como afirma Coelho e Sales (2017) de 2004 a 2010 houve a construção de alguns condomínios residenciais nessa região.

O ganho de vegetação é apenas referente ao intervalo de 2000 a 2010, a variação na vegetação ao longo dos anos pode ser estimada se forem realizados outros estudos. Vale ressaltar que o aumento relativo de vegetação em alguns bairros pode estar diretamente relacionado às ações antrópicas, ou seja, pode ter acontecido que no ano mais antigo uma determinada área estava sem a presença da vegetação para a construção de residências, por exemplo, e com o passar dos anos as residências foram construídas e pode ter havido um crescimento de vegetação no quintal das casas.

O bairro Vila Vitória, que apresentou o maior ganho de vegetação entre os anos de 2000 e 2010 é um bairro que tem como classificação C2, que é um bairro caracterizado por possuir ocupações irregulares. Esse ganho de vegetação pode estar

ligado diretamente às ações antrópicas, pois como abordado anteriormente, quando o satélite capturou imagens dessa área em 2000 pode ter ocorrido que alguns pontos não tivessem vegetação, ou então que a vegetação estivesse com o vigor vegetativo baixo e com o passar dos anos essa vegetação foi se desenvolvendo e foi captada no ano de 2010.

Outro ponto que pode ser considerado para a apresentação dos resultados referentes aos valores das áreas de vegetação e não vegetação é que os sensores possuem uma limitação quanto à resolução espacial, no caso do LANDSAT 5 a resolução é de 30 metros, o que segundo Meneses e Almeida (2012) significa que o menor objeto que se consegue identificar através de imagens desse satélite deve possuir 30m x 30m, que é o tamanho do pixel e isso pode impactar os resultados obtidos, pois quando é realizado o processo de vetorização da imagem NDVI para a quantificação da feição seja ela área vegetada ou não, acaba ocorrendo um agrupamento das feições, por exemplo uma construção menor do que 30 m x 30 m pode ser agrupada como um objeto vegetado se a feição predominante for de área vegetada, o mesmo pode ocorrer para algumas vegetações que por ventura estão inseridas em uma área predominantemente não vegetada.

#### 4.Considerações Finais

A maioria dos bairros quinze bairros, que apresentaram maior crescimento populacional na cidade de São Luís-MA, entre os anos de 2000 a 2010 obtiveram alterações na vegetação, sete apresentaram perda de vegetação, outros sete apresentaram um relativo ganho de vegetação e um bairro, o Recanto dos Pássaros, não teve alteração.

Sem as ferramentas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e o SIG seria difícil estimar esses valores, mesmo com as interferências geométricas e interferências atmosféricas, minimizadas por através do SIG, foi possível realizar um mapeamento e um levantamento de dados referentes aos impactos na vegetação decorrente do crescimento populacional. Essas ferramentas proporcionaram quantificar às áreas de vegetação e não vegetação, o que pode auxiliar os gestores municipais a formularem políticas públicas referentes à preservação do meio ambiente além de ter dados quantitativos à respeito das áreas antropizadas.

Portanto, é necessário fazer um mapeamento constante para o monitoramento das áreas dos bairros, como forma de conhecer melhor o espaço e as conseqüências decorrentes da expansão urbana. Este trabalho considerou somente os anos de 2000 e 2010, porém o mapeamento constante é justamente estudar as variações em outros anos, mas é claro comparando imagens provenientes de um mesmo sensor, para evitar mais ainda as interferências geométricas.

Neste sentido, este estudo pode ser utilizado como referência para desenvolvimento de pesquisas similares, podendo-se sugerir como estudos pesquisas utilizando sensores de satélites com resolução espacial maior, comparação entre anos mais recentes e anos mais antigos, realização estudos semelhantes em outras regiões da cidade de São Luís-MA, ou em outras cidades, além de servir como base para a elaboração de novas metodologias para a análise de áreas vegetadas e não vegetadas.

#### Referências

- Almeida, C. M. (2010) Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. *Arq.Urb*, (3), 98-123. <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/120/106>
- Almeida, R. V., Araújo, M. D. D. O. G. D., Silva, A. C. D. S., & Senna, J. A. D. (2015). Comparação dos Métodos de Correção Atmosférica: "6S" e "DOS" processadas em dados do sensor TM/Landsat 5 e correspondentes a região de ocorrência da turfeira P-d-F. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB.
- Alves, C. A (2004). Estimativa da área impermeável dentro da bacia do Arroio. Dilúvio (Porto alegre - RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. [http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy\\_of\\_sobre-o-arroio\\_diluvio/estiamtivadaarea.pdf](http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio_diluvio/estiamtivadaarea.pdf).
- Brinkhoff, T., Kriegel, H. P., Schneider, R., & Bernhard, S. (1994). Multi-Step Processing of Spatial Joins. *ACM SIGMOD Record*. 23. 10.1145/191839.191880. [https://www.researchgate.net/publication/33030235\\_Multi-Step\\_Processing\\_of\\_Spatial\\_Joins](https://www.researchgate.net/publication/33030235_Multi-Step_Processing_of_Spatial_Joins)
- Coelho, G. T. F., & Sales, L. L. N. (2017) Ocupação do espaço urbano: observações históricas e a expansão da Península da Ponta D'areia em São Luís (MA) entre os anos de 2004 e 2016. *Social Evolution*. <https://doi.org/10.6008/SPC2595-430X.2017.001.0002>

Diogo, R. F. (2016). *Avaliação de Metodologias de correção da reflectância do topo da atmosfera para Landsat 8 Oli*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão-PR: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7003>

Defesa Civil de São Luís – MA (2019). Pontos de risco de São Luís. São Luís.

IBGE (2021). Instituto Brasileiro E Geografia E Estatística. Cidades. <http://www.ibge.gov.br>

INCID. (2010) Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural. <https://www.agenciasaoluis.com.br/site/arquivodacidade/2239>

Leite, G. T. D., Pinheiro, R. Z. G., & Pamboukian, S. V. D. (2019). Monitoramento de áreas de risco com a utilização de técnicas de geoprocessamento. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, 19(1), 28-47. São Paulo-SP.

Louzeiro, A. D. S. (2018) *Vulnerabilidade e risco de movimento de massa no município de São Luís - MA (Brasil)*. [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/25405/1/Vulnerabilidade\\_risco\\_de\\_movimento\\_Louzeiro\\_2018.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/25405/1/Vulnerabilidade_risco_de_movimento_Louzeiro_2018.pdf).

Machado, C. A. S. (2013) *Técnicas de sensoriamento remoto para identificação de áreas de concentração de polos geradores de viagens*. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-14052014-152928/pt-br.php>

Meneses, P. M., & Almeida, T. D. (2012). Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento remoto. <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>

Moreira, A. M. (2003). Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. Editora UFV, 2a Ed., Viçosa MG.

Nunes, F. F., & Roig, H. L (2014). Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do Alto do Descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa. *Revista Árvore*. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100003>.

Pamboukian, P. D. (2015). Classificação supervisionada. [https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/62/ARQUIVOS/PUBLIC/user\\_upload/\\_imported/fileadmin/LABGEO/Curso/09\\_Aula\\_09/0901.\\_Classificacao\\_supervisionada.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/62/ARQUIVOS/PUBLIC/user_upload/_imported/fileadmin/LABGEO/Curso/09_Aula_09/0901._Classificacao_supervisionada.pdf)

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Editora UAB/NTE/UFMS. Santa Maria-RS

Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E., & Kuplich, T. M (2012) *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. *Oficina de Textos*, (2ª Ed.) São José dos Campos-SP

Rosário, R. C., & Araújo, R. C. (2019). Estudo da expansão urbana da cidade de São Luís-MA. *Revista Engenharia e Tecnologia*. <https://www.revistas2.uepg.br>

Secretária de Saúde do Estado do Maranhão. (2021). <https://www.saude.ma.gov.br/>

Silva, J. S., & Silva, R. M. (2016). Mapeamento e comparação entre índices de vegetação utilizando imagem OLI/Landsat 8 na bacia do Rio Bacanga, São Luís (MA). *XVII Encontro de Geógrafos*. São Luís, Maranhão, Brasil.