



Universidade Federal de Alagoas  
Instituto de Ciências Atmosféricas  
Curso de Bacharelado em Meteorologia



Bárbara Alves Batista

## **Avaliação da Expansão Urbana na Cidade de Maceió via Produtos Orbitais**

Maceió, Alagoas

Fevereiro, 2022

Bárbara Alves Batista

## **Avaliação da Expansão Urbana na Cidade de Maceió via Produtos Orbitais**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: **Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior**

Maceió, Alagoas

Fevereiro, 2022

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecário: Cláudio César Temóteo Galvino – CRB4/1459

B333a Batista, Bárbara Alves.  
Avaliação da expansão urbana na cidade de Maceió via produtos orbitais /  
Bárbara Alves Batista. – 2022.  
48 f.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.  
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Meteorologia) – Instituto de  
Ciências Atmosféricas, Curso de Graduação em Meteorologia, Universidade Federal  
de Alagoas. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 36-41.  
Apêndices: f. 42-48.

1. LST (*Land Surface Temperature*). 2. Produtos orbitais. 3. Uso do planeta  
Terra. 4. Cobertura do planeta Terra. 5. NDVI (*Normalized Difference Vegetation  
Index*). 6. Maceió - Alagoas I. Título.

CDU: 551.524(813.5)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Geraldo e minha irmã Jéssica (*in memoriam*) que sempre me apoiaram e deixaram uma grande saudade no meu coração, a minha mãe e aos meus irmãos, com todo carinho e dedicação. Amo vocês mais que tudo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos ao longo do curso.

Agradeço ao meu pai, José Geraldo por todo incentivo e a imensa falta que sinto dele até hoje, e a minha querida mãe Edna por todo incentivo ao longo do curso, sempre ao meu lado em momentos tristes e felizes nessa jornada.

Aos meus irmãos Bruna, Eduardo e Gustavo por todo apoio e companheirismo nos momentos mais difíceis que passamos muito obrigada.

Em especial a minha irmã Jéssica foi por causa dela que fiz essa graduação, e que sinto imensas saudades.

Ao professor e orientador Dr. José Francisco de Oliveira Júnior, por todo incentivo. Agradeço também por todas as oportunidades, paciência e dedicação que me proporcionou na graduação, além da confiança que em mim sempre foi depositada.

Ao coorientador Prof. Dr. Washington Luiz Félix Correia Filho, pela sua disposição e conhecimentos, que foram cruciais no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço toda a paciência e atenção, por ter sido presente mesmo estando longe.

A todos da minha família, que sempre estiveram comigo dando todo apoio e cumplicidade.

Aos meus amigos do curso de Meteorologia que foram essenciais, Carla, Douglas, Helen e Dimas.

A todos os professores do ICAT/UFAL, em especial a professora Djane e o professor Ricardo Amorim pelos ensinamentos.

Aos meus amigos de longa data João Paulo, Ibiana e Herbert que mesmo longe me deram todo apoio.

E a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero obrigado.

## RESUMO

O crescimento desordenado das cidades resultou em mudanças significativas no uso e ocupação do solo e no clima urbano das cidades do Nordeste do Brasil (NEB). Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a expansão urbana e o impacto ambiental em Maceió-Alagoas entre 1985 e 2020 via temperatura da superfície terrestre (LST) e do índice de vegetação normalizado (NDVI). Os produtos orbitais foram oriundos dos sensores Landsat 5/Thematic Mapper (TM) e 8/Operational Land Imager (OLI). O estudo utilizou quatro imagens de mudanças temporais e espaciais na urbanização correspondentes a 1987, 1998, 2006 e 2020. Os mapas temáticos NDVI e LST foram gerados a partir do software ambiente R versão 3.4.1. Os resultados obtidos mostram mudanças significativas no uso e ocupação do solo a partir do NDVI, bem como um aumento significativo no LST ao longo de 35 anos. Essa mudança ocorreu nas regiões norte (N) e noroeste (NW) da cidade como resultado dos programas do Governo Federal, denominados Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Minha Casa Minha Vida (PMCMV), principalmente na década de 2010. Vale destacar com as maiores transformações do uso e ocupação do solo, que resultou no maior aumento na LST entre 7,5-10,0°C. Os efeitos da expansão urbana são mitigados devido às zonas de proteção ambiental existentes na fronteira da cidade, com destaque as Áreas de Proteção Ambiental (APA) Catolé, Fernão Velho e Parque Municipal de Maceió. O impacto da expansão urbana é atenuado devido às áreas proteção ambiental.

**Palavras-Chave:** LST; Produtos Orbitais, Uso da Terra e Cobertura da Terra; NDVI; Maceió.

## ABSTRACT

The disorderly growth of cities resulted in significant changes in land use and occupation and in the urban climate of cities in Northeast Brazil (NEB). Therefore, the objective of this study is to evaluate urban expansion and environmental impact in Maceió-Alagoas between 1985 and 2020 via land surface temperature (LST) and normalized vegetation index (NDVI). The orbital products came from the Landsat 5/Thematic Mapper (TM) and 8/Operational Land Imager (OLI) sensors. The study used four images of temporal and spatial changes in urbanization corresponding to 1987, 1998, 2006 and 2020. The NDVI and LST thematic maps were generated using the R environment software version 3.4.1. The results obtained show significant changes in land use and occupation from the NDVI, as well as a significant increase in LST over 35 years. This change occurred in the north (N) and northwest (NW) regions of the city as a result of the Federal Government programs, called Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) and Minha Casa Minha Vida (PMCMV), mainly in the 2010s. with the greatest changes in land use and occupation, which resulted in the greatest increase in LST between 7.5-10.0°C. The effects of urban expansion are mitigated due to the existing environmental protection zones on the city's border, especially the Environmental Protection Areas (APA) Catolé, Fernão Velho and Parque Municipal de Maceió. The impact of urban sprawl is mitigated due to environmental protection areas.

**Keywords:** LST; Orbital Products, Land Use and Land Cover; NDVI; Maceió.

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1</b> – Bairros do município de Maceió/AL e suas 8 regiões administrativas (RA).....	18
<b>Figura 2</b> – Avaliação Espacial do Uso e Ocupação do Solo na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.....	26
<b>Figura 3</b> – Percentuais NDVI, Corpos d'água / Nuvens (a), solo nu / área construída (b), vegetação esparsa (c), vegetação abundante (d) e vegetação densa (e) no período de 1987 a 2020.....	27
<b>Figura 4</b> – Avaliação temporal da LST (°C) na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.....	31

## LISTA DE TABELAS

	<b>pág.</b>
<b>Tabela 1.</b> Lista dos Bairros por Região Administrativa no município de Maceió.....	19
<b>Tabela 2</b> – Data de aquisição da imagem orbital, ângulo de elevação (ELV, em °) e azimute solar (AZS, em °), cobertura de nuvens (CN em %), e distância Terra-Sol (DTS) das imagens Landsat 5 and 8.....	20
<b>Tabela 3.</b> Descrição das bandas do TM, OLI e TIRS do Landsat 5 e 8, com os respectivos coeficientes de calibração ( $a_i$ e $b_i$ ) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda i}$ ).....	20
<b>Tabela 4</b> – Classificação do NDVI em cinco classes de uso e ocupação do solo, com os seus respectivos intervalos.....	23

## Sumário

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 - OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 - Geral. ....	14
2.2 - Específicos.....	14
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
3.1 – Expansão Urbana em Maceió.....	15
3.2 – Impactos do Uso e Ocupação do Solo nas Cidades Metropolitanas.....	16
3.3 – Expansão Urbana no Brasil .....	17
<b>4 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	19
4.1 – Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	19
4.2 – Dados.....	20
4.3 – Obtenção do NDVI .....	21
4.4 – Temperatura da Superfície Terrestre (LST).....	24
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
5.1 – NDVI.....	26
5.2 – LST.....	31
<b>6 - CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	35
<b>7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	36
<b>APÊNDICES</b> .....	42

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras com mais de 500.000 habitantes passaram por mudanças geoambientais profundas nas últimas décadas (IBGE, 2021), principalmente devido à implementação de políticas públicas federais voltadas para o desenvolvimento e expansão urbana, com destaque para o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Minha Casa Minha Vida (PMCMV) – (Menezes; Mourão, 2017; Correia Filho et al., 2019). No entanto, tais políticas públicas não foram implementadas de forma coordenada e planejada, assim resultou em mudanças no uso e ocupação do solo (Freitas, 2014; Correia Filho et al., 2019) e nos climas locais e regionais (Marengo, 2014).

O processo de urbanização e de reurbanização produzem alterações significativas no ambiente natural, com a supressão da vegetação nativa por materiais e equipamentos urbanos (Guha et al., 2018). Com esse processo de urbanização, que as cidades se passaram e se intensifica nas últimas décadas, rapidamente e intensas modificações no ambiente físico, como a drástica redução da taxa de infiltração ou até mesmo a vedação do solo e, por fim contribuíram para a formação e intensificação da Ilha de Calor Urbano (ICU) – (Santos et al., 2021). Assim como na maioria das capitais brasileiras, nas últimas quatro décadas, Maceió passou por um rápido processo de urbanização associada a problemas em infraestrutura e sistemas de ocupação urbana (Neves et al., 2007).

Belló (2004) a urbanização sem planejamento e controle pode ocasionar efeitos catastróficos do ponto de vista ambiental. (Cabral; Reis 2015) mostraram que quando o planejamento urbano está vinculado às leis e regulamentos que regem as ocupações urbanas, os problemas causados pela erosão e consequente assoreamento dos corpos de água são frequentemente reduzidos.

Com o crescimento da cidade, o solo se tornou impermeabilizado e assim como resultado, parte da água infiltrada começa a fluir pelas tubulações, aumentando o escoamento superficial. Com a urbanização, volumes que fluem de forma lenta na superfície do solo e, agora são retidos pela vegetação passam a fluir por canais, sendo exigida maior capacidade de escoamento transversal (Tucci, 2007).

Os fenômenos sociais e ambientais, incluindo aqueles que alteram a temperatura da superfície durante a urbanização (Mascaró, 1996; Romero, 2001; Sorre, 2006), podem ser investigados a partir dos produtos de Sensoriamento Remoto (SR). Por exemplo, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e a *Land Surface Temperature* (LST) - (LI et al., 2014; Guha et al., 2018). O NDVI é bastante utilizado na avaliação da dinâmica da vegetação (Dagnachew et al., 2020), devido a sua capacidade de detectar alterações na cobertura vegetal com rapidez e baixo custo operacional e sendo comumente associado à LST para estudos de alterações climáticas urbanas (Guha et al., 2018; Correia Filho et al., 2019). O uso da LST permite avaliar o impacto das alterações no uso e ocupação do solo e no microclima local e, principalmente no conforto térmico (Santiago; Gomes, 2016; Guha et al., 2018).

Quando se trata desta avaliação aos efeitos da expansão urbana nos bairros de Maceió, Alagoas há poucos estudos relativos a tal temática (Araújo; Di Pace, 2010; Santiago; Gomes, 2016; Correia Filho et al., 2019). Dessa forma, se faz necessário investigar a expansão urbana e seu impacto socioambiental a partir de produtos de SR na cidade de Maceió em período superior a 30 anos, devido sua importância como capital do Estado e adensamento populacional.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- **AVALIAR** a degradação ambiental a partir do avanço urbano e as mudanças no uso e ocupação do solo dos bairros de Maceió.

### 2.2 Específicos

- **IDENTIFICAR** os bairros com as maiores mudanças no Uso e Ocupação do Solo no município de Maceió, e de suas consequências em seu entorno;
- **DIAGNOSTICAR** os efeitos das alterações no Uso e Ocupação do Solo na Temperatura de Superfície (LST);
- **AVALIAR** a interação do uso e ocupação do solo com a dinâmica da Ilha de Calor na cidade de Maceió;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - Expansão Urbana em Maceió**

Maior parte dos problemas enfrentados pelas grandes e médias cidades brasileiras é causada pela aceleração e desequilíbrio do processo de urbanização, como mobilidade urbana, saneamento urbano imperfeito, uso e ocupação do solo etc., que passaram a serem as principais causas da urbanização (Cortese et al., 2017).

O processo de urbanização de Maceió é semelhante ao processo de urbanização da maioria das capitais brasileiras, todos relacionados a problemas de infraestrutura, mudanças no ciclo hidrológico e ocupação urbana (Almeida et al., 2015).

O processo desordenado de ocupação do solo, aliado ao não cumprimento do planejamento urbano e às fiscalizações de instabilidade e monitoramento das áreas de preservação permanentes, tende a acelerar o processo de erosão e desequilibrar as encostas dessas comunidades (Santos, 2014).

Em termos específicos, questões sobre o uso de terra e cobertura na área urbana da cidade, a quantidade e distribuição de áreas verdes e sua relação com a temperatura da superfície terrestre (LST). A partir de uma análise macro da distribuição e presença dessas áreas verdes na cidade Maceió/AL e sua influência sobre a temperatura da superfície, e também a sensação de perguntas sobre suas faltas, seguido de possíveis esforços como um equipamento urbano de qualidade ambiental e social (Barbirato, 2010; De Barros; De Musis, 2013).

A expansão urbana acelerada tem levado ao desenvolvimento das cidades de forma desordenada e aleatória, muitas vezes tendendo para áreas restritas, como já aconteceu em Maceió. Segundo Santos (2014) nos últimos anos, as iniciativas públicas e privadas se expandiram e o não cumprimento das normas ambientais vigentes levou a um aumento dos problemas socioambientais (deslizamentos, erosão, poluição de rios e inundações), e um grande volume de investimento público é necessário para aliviar estes problemas.

### 3.2 - Impactos do Uso e Ocupação do Solo nas Cidades Metropolitanas

O crescimento descontrolado da população urbana é um tema recorrente (Almeida, 2003; Souza, 2009; Polidori, 2005). Esse fato tem causado diversos impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais, que afetam diretamente o dia a dia das pessoas.

A ocupação não planejada e irrestrita do solo urbano, além de causar danos ao meio ambiente por meio da ocupação de áreas protegidas pelas pessoas mais desfavorecidas economicamente, é um dos efeitos que causam danos mais evidentes à população (Grande et al., 2014).

Entre outros impactos ambientais negativos: sobrecarregar os sistemas de drenagem urbana, aumentar a impermeabilização do solo e reduzir a infiltração; estradas impermeabilizadas levando à perda de cobertura vegetal, reduzindo a infiltração de água no solo e aumentando a quantidade e a taxa de escoamento; escassez de água e degradação da qualidade da água; resíduos sólidos e, ainda acúmulo em componentes de sistemas de drenagem (canais, bueiros, bocas de lobo, etc.), entupindo-os, causando transbordamento quando chove. (Acioly; Davidson, 2011).

O desmatamento reduz a biomassa e, portanto, reduz umidade absorvida pelo solo. Sem cobertura vegetal, o solo fica mais suscetível a erosão. Além disso, quando á luz solar, o albedo da superfície aumenta, oxidando assim a matéria orgânica. A alta temperatura causa a morte de microrganismos, diminui a fertilidade do solo e causado a perder o campo visual da superfície (Barbosa et al., 2007).

De acordo com Carrasco et al. (2018), ao qual avaliaram a LST na cidade de Paranapanema e identificaram que nos últimos 30 anos as variações de temperatura estão associadas com a dinâmica de uso da terra.

Ayoade (1983) aponta que o maior impacto no clima ocorre em áreas urbanas, onde componentes naturais são substituídos por superfícies pavimentadas, ruas e telhados, que alteram a composição química, geotérmica e propriedades hidrológicas. Lombardo (1985) destacou que, este processo de ocupação teve um impacto profundo no ambiente urbano: uma metrópole com insuficiente ordenamento territorial, insuficientes parâmetros de verticalização e ocupação, crescimento extremamente rápido e poucos recursos técnicos, colocando em risco a qualidade de vida. Segundo Souza e Rodrigues (2004), o planejamento urbano busca realizar

uma projeção futura de uma cidade estruturada com medidas preventivas que minimizem os problemas atuais, agregando benefícios. Villaça (1999) aponta que um bom planejamento é realizado a partir dos governantes seguirem as diretrizes recomendadas pelo plano diretor de sua respectiva cidade.

Lopes et al. (2010) apontam a simplicidade e a alta sensibilidade do NDVI na avaliação da densidade da cobertura vegetal, além disso, é muito utilizada como indicador biofísico para avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação ambiental.

### **3.3 - Expansão Urbana no Brasil**

A expansão urbana do Brasil é relativamente nova. Sua origem está relacionada a uma série de mudanças estruturais na economia e na sociedade brasileiras desde a década de 1930, mas foi somente a partir do censo de 1970 que a população urbana era superior à rural (Brito; Souza, 2005).

No pico da expansão urbana, a taxa de fecundidade alta é importante para esse crescimento populacional anormal e, quando se acelerar e se tornar comum, a taxa de fecundidade diminuirá. No entanto, no contexto do ciclo de migração interna, a maior parte do crescimento da população urbana deve ser explicada pelo forte fluxo de migrantes rurais e urbanos. Tem lidado com a grande migração populacional em um curto período, o que é uma boa ilustração da dimensão das enormes mudanças pelas quais a sociedade brasileira está passando (Carvalho; Garcia, 2003).

A migração interna redistribuiu a população das áreas rurais para as urbanas, redistribuindo entre os estados brasileiros e diferentes regiões, incluindo áreas onde a fronteira agrícola está se expandindo. Embora a economia e as oportunidades de emprego tenham alcançado um grande crescimento até o final da década de 1970, devido aos desequilíbrios econômicos e sociais na região de origem, os imigrantes domésticos acabaram se reproduzindo na região de destino.

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi um dos programas habitacionais que foi implementado pelo Governo Federal, onde permitiu aos cidadãos o sonho da casa própria, assim como a geração de emprego e aquecimento da economia local e, assim ampliar o acesso à moradia digna, com ações integradas de regularização urbanística, fundiária e de segurança, habitação,

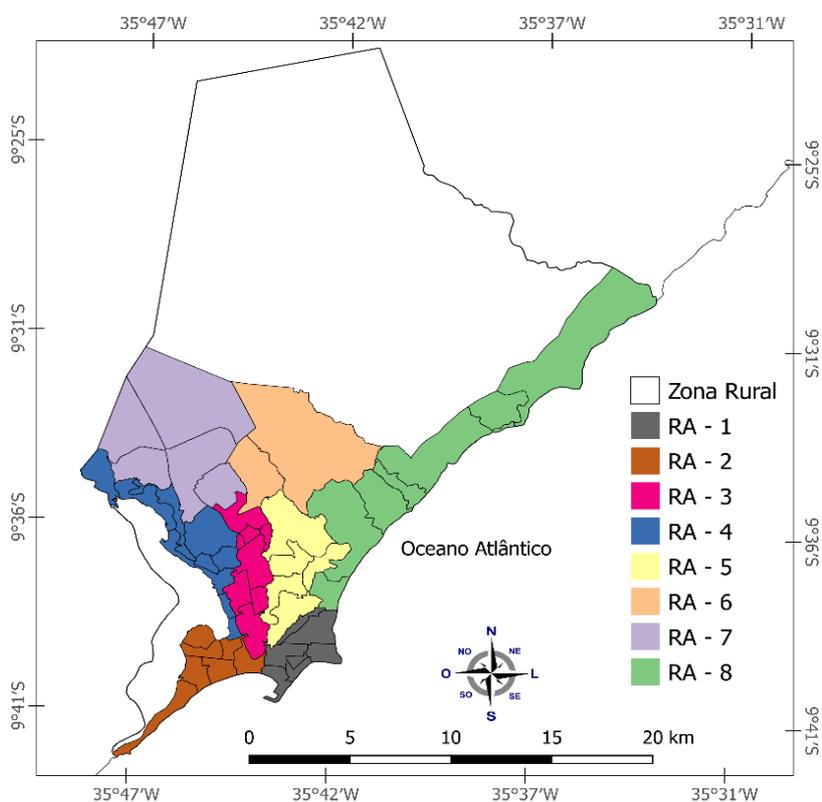
saneamento e inclusão social, com a permanência dos residentes no local ou o seu reassentamento quando a permanência oferecia riscos (Brasil, 2009). O PAC teve o crescimento populacional e a industrialização associados a mudanças nos costumes (valores) contribuem significativamente para as mudanças climáticas, especialmente em escala local, como nas áreas urbanas. Diferentes atividades humanas nos espaços internos (parques, indústrias, edifícios etc.) - (Buccheri-Filho; Tonetti, 2011).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

Maceió, capital do estado de Alagoas (Figura 1), possui uma área de 509,320 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 1,025 milhão de habitantes (IBGE, 2021). Segundo a classificação de Köppen-Geiger é categorizado como tropical quente e úmido 'As', com variações na amplitude térmicas ao longo do ano (Correia Filho et al., 2019). As temperaturas médias variam entre 25.0°C a 26.4°C, com mínimas e máximas de 19.0°C e 31.0°C, respectivamente. Maceió registra valores anuais de chuva entre 1.500 e 2.000 mm, com estações bem definidas: **i)** seca, entre os meses de setembro a fevereiro; **ii)** chuvosa, entre os meses de março a agosto (Correia Filho et al., 2019; Oliveira-Júnior et al., 2021).

Atualmente, o Plano Diretor da Cidade de Maceió atual exibe que a área urbana de Maceió é constituída por 50 bairros, subdividido em oito regiões administrativas (RA), ilustrada na Figura 1 e na Tabela 1 (PMAS-MACEIÓ, 2014).



**Figura 1** - Bairros do município de Maceió/AL e suas 8 regiões administrativas (RA).

**Fonte:** PMAS-MACEIÓ (2014). Mapa elaborado pelos autores.

<b>Região Administrativa (RA)</b>	<b>Bairros</b>
<b>RA1</b>	Poço, Jaraguá, Ponta da Terra, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Mangabeiras.
<b>RA2</b>	Centro, Pontal da Barra, Trapiche da Barra, Prado, Levada, Vergel do Lago, Ponta Grossa.
<b>RA3</b>	Farol, Pitanguinha, Pinheiro, Gruta de Lourdes, Canaã, Santo Amaro, Jardim Petrópolis, Ouro Preto.
<b>RA4</b>	Bom Parto, Mutange, Bebedouro, Chã de Bebedouro, Petrópolis, Chã da Jaqueira, Santa Amélia, Fernão Velho e Rio Novo.
<b>RA5</b>	Jacintinho, Barro Duro, Serraria, São Jorge e Feitosa.
<b>RA6</b>	Benedito Bentes e Antares.
<b>RA7</b>	Santos Dumont, Cidade Universitária, Santa Lúcia, Tabuleiro dos Martins e Clima Bom.
<b>RA8</b>	Cruz das Almas, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca.

**Tabela 1.** Lista dos Bairros por Região Administrativa no município de Maceió.

**Fonte:** PMAS-MACEIÓ (2014). Tabela elaborada pela autora.

#### 4.2. Dados

Para a avaliação da expansão urbana dos bairros Maceió foram utilizadas imagens dos sistemas-sensores *Landsat 5/Thematic Mapper (TM)* e *8/Operational Land Imager (OLI)*, adquiridas a partir do endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>, gerenciado pela *United States Geological Survey – USGS* (USGS, 2021). A partir disso, selecionaram-se quatro imagens com o mínimo de presença de nuvens sobre a área de estudo, com o objetivo de avaliar a espaço-temporalidade da urbanização ao longo dos 35 anos (1985-2020), descritas na Tabela 2. A partir das imagens obtidas, da área total do município de 351.48 km<sup>2</sup>. As imagens foram submetidas às etapas de: 1) organização; 2) pré-processamento; 3) manipulação e extração dos valores de LST e NDVI; 4) Avaliação dos mapas

temáticos. Todas as etapas foram realizadas no R versão 3.4.1 (R DEVELOPMENT TEAM, 2019).

**Tabela 2** – Data de aquisição da imagem orbital, ângulo de elevação (ELV, °) e azimute solar (AZS, °), cobertura de nuvens (CN, %), e distância Terra-Sol (DTS) das imagens Landsat 5 and 8.

Path/Row	Data	ELV (°)	AZS (°)	CN (%)	DTS
214/067	07/09/1987	56,28	113,15	9,00	0,98
	21/09/1998	56,41	73,13	23,00	1,00
	26/08/2006	53,43	56,84	11,00	1,01
	14/10/2020	65,88	92,50	20,81	0,99

### 4.3. Obtenção do NDVI

Para a extração dos dados de NDVI foram realizadas algumas etapas subsequentes. A primeira é o pré-processamento das bandas espectrais obtidas pelos satélites-sensores Landsat 5/TM e 8/OLI, respectivamente, seguido da conversão do número digital (ND) em valores de radiância e reflectância monocromáticas. As bandas utilizadas para cada índice são descritas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Descrição das bandas do TM, OLI e TIRS do Landsat 5 e 8, com os respectivos coeficientes de calibração ( $a_i$  e  $b_i$ ) e irradiação solar espectral ( $E_{\lambda i}$ ).

Landsat 5			
Descrição das bandas TM	Comprimento de onda	Coeficientes de calibração	
		$a_i$	$b_i$
Band 3 – Red	0.630 – 0.690	-1.17	264.00
Band 4 – Near Infrared (NIR)	0.790 – 0.900	-1.51	221.00

**Continuação.**

<b>Band 5 – Shortwave Infrared (SWIR 1)</b>	1.550 – 1.750	-0.37	30.20
<b>Banda 6 – Thermal</b>	10.40 – 12.50	1.24	15.30

**Landsat 8**

<b>Descrição das bandas OLI</b>	<b>Comprimento de onda</b>	<b>Coefficientes de calibração</b>	
		<b><math>a_i</math></b>	<b><math>b_i</math></b>
<b>Band 4 – Red</b>	0.636 – 0.673	-51.54	624.17
<b>Band 5 – Near Infrared (NIR)</b>	0.851 – 0.879	-31.54	381.96
<b>Band 6 – Shortwave Infrared (SWIR 1)</b>	1.566 – 1.651	-7.84	94.99
<b>Band 10 – Thermal Infrared (TIRS 1)</b>	10.60 – 11.19	0,10	22,00

A conversão do ND em radiância espectral do topo da atmosfera (TOA) foi obtida pela Eq. 1 (Markham e Baker, 1987):

$$\rho_{\lambda i}' = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} * ND, \text{ for Landsat 5 images}$$

ou

$$\rho_{\lambda i}' = a_i + \frac{b_i - a_i}{65535} * ND, \text{ for Landsat 8 images} \quad (1)$$

em que,  $a$  e  $b$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ), conforme a Tabela 2, detectadas pelo TM e OLI da série Landsat;  $i$  corresponde às bandas 3, 4, 5 e 6 (banda termal) do sensor TM do Landsat 5 (bandas 4, 5 e 6 do

sensor OLI, e as bandas 10 e 11 do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do Landsat 8).

Em seguida foi calculado a reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), definida como a razão entre o fluxo de radiação refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a Eq. 2 (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi * \rho_{\lambda_i'}}{ESolar_{\lambda_i} * \cos\theta * d_r} \quad (2)$$

em que,  $ESolar_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ), apresentada na Tabela 4,  $\theta$  é o ângulo zenital solar e  $d_r$  é a distância Terra-Sol.

Após a obtenção da radiância e reflectância monocromática, buscou-se a obtenção do NDVI, a partir da reflectância das bandas NIR ( $\rho_{NIR}$ ) e vermelha ( $\rho_R$ ). O principal objetivo do NDVI é identificar a atividade fotossintética da vegetação numa determinada região, mas é comumente utilizada em diferentes abordagens, incluindo a detecção de ICU e a expansão urbana (Santiago e Gomes, 2016; Correia Filho et al., 2019).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R)} \quad (3)$$

em que,  $\rho_{NIR}$  e  $\rho_R$  correspondem, respectivamente, às reflectâncias das bandas do infravermelho-próximo e vermelho. Os valores de NDVI variam de -1 a 1, onde os valores positivos correspondem a áreas com vigor vegetativo (superfície terrestre) de acordo com a atividade fotossintética da vegetação e sua densidade na área considerada (pixel); enquanto os valores negativos refletem massas de água e a presença de nuvens (Rouse, 1974; Guha et al., 2018; Correia Filho et al., 2019). Desta maneira, o NDVI foi classificado em cinco classes: Corpos d'água / Nuvens, solo nu / área construída, vegetação esparsa, vegetação abundante e vegetação densa, descrito na Tabela 2.

Classes	Intervalos
Corpos d'água / nuvens	-1.00 a -0.20
Solo nu / Área construída	-0.20 a 0.15
Vegetação esparsa	0.15 a 0.40
Vegetação abundante	0.40 a 0.60
Vegetação densa	0.60 a 1.00

**Tabela 4** – Classificação do NDVI em cinco classes de uso e ocupação do solo, com os seus respectivos intervalos.

**Fonte:** Correia Filho et al. (2021).

#### 4.4. Temperatura da Superfície Terrestre (LST)

A obtenção do LST é a partir das seguintes etapas, o cálculo da emissividade da superfície terrestre extraídos do NDVI, a partir da metodologia proposta de Sobrino et al. (2004) pela Eq.4:

$$d_{\varepsilon} = (1 - \varepsilon_s) * (1 - P_v) * F * \varepsilon_v \quad (4)$$

$\varepsilon_v$  é a emissividade da vegetação,  $\varepsilon_s$  é a emissividade do solo, F é o fator de whose valor médio (F é igual a 0.55 de acordo com LIM et al., 2002),  $P_v$  é a proporção da vegetação obtida pela seguinte Eq. 5 (Quintano et al., 2015), descrita a seguir:

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} + NDVI_{min}} \right)^2 \quad (5)$$

Para a obtenção de emissividade é obtida pela Eq.6:

$$\varepsilon = \varepsilon_v * P_v + \varepsilon_s * (1 - P_v) + d_{\varepsilon} \quad (6)$$

Para obter o LST é utilizada a banda térmica com dados de radiância monocromática, que são calculados e convertidos em temperatura de brilho. O LST é um dos principais indicadores de alteração do microclima local, normalmente associado à alteração do Uso e Ocupação do Solo (Guha et al., 2018; Correia Filho

et al., 2019). Na avaliação do efeito da urbanização foi usado LST. Para isto, é necessário calcular a radiância monocromática (Eq. 2) da banda 6 do sensor TM do Landsat 5/TM (Bandas 10 do sensor TIRS1 para o Landsat 8/OLI). Após a obtenção da radiação espectral, calculou-se a BT pela Eq. 7, e posteriormente a LST pela Eq. 8 (Guha et al., 2018):

$$TB = \left( \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_2}{P\lambda_i} + 1\right)} \right) - 273,16 \quad (7) \quad LST = \frac{TB}{1 + W * \left(\frac{TB}{P}\right) * \ln(\varepsilon)} \quad (8)$$

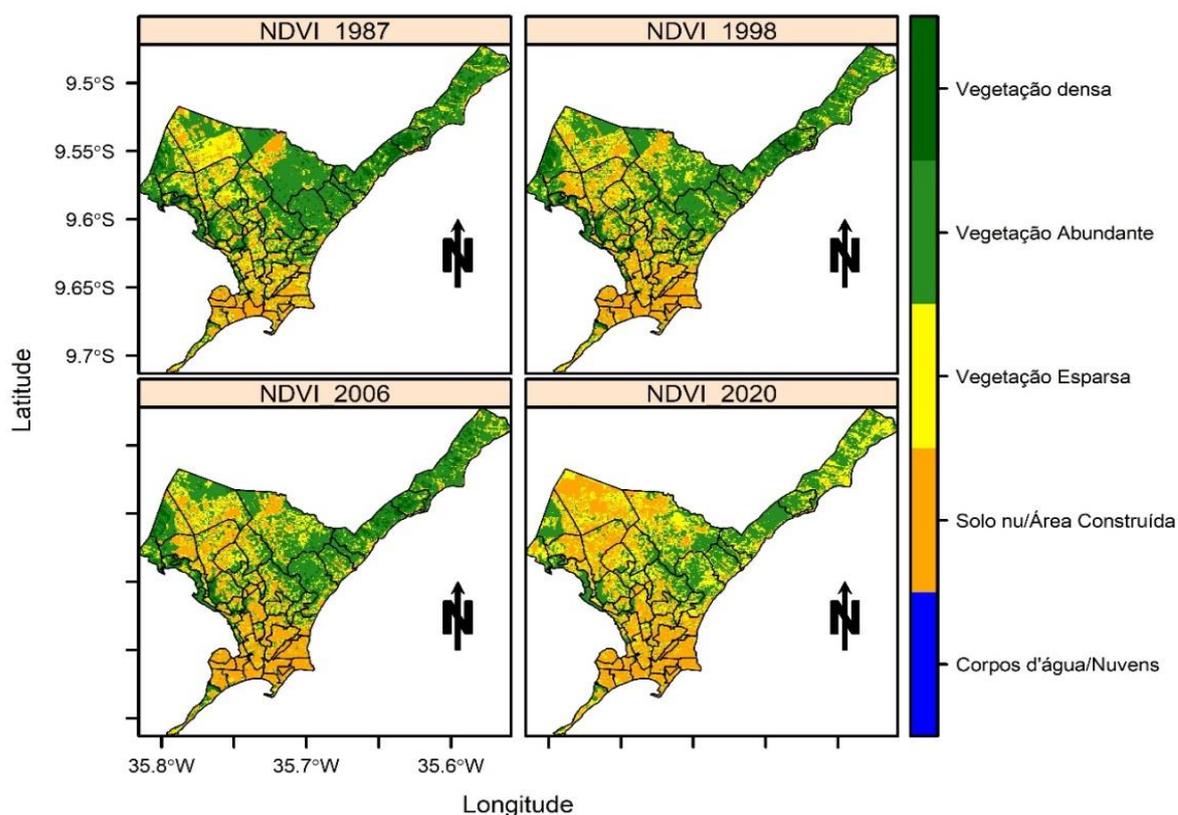
Em que, TB é a temperatura de brilho dada em Celsius (°C), para o satélite Landsat 5 os valores de  $K_1$  e  $K_2$  correspondem a  $607.76 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$  e  $1260.56 \text{ K}$ , e o Landsat 8 foram de  $774.88 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$  e de  $1321.08 \text{ K}$ , respectivamente. W é o comprimento de onda efetiva ( $11.475 \mu\text{m}$ ),  $P=h*c/s$  ( $1.438*10^{-2} \text{ mK}$ ),  $h$ = Constante de Planck,  $c$ =velocidade da luz,  $s$ =constante de Boltzmann ( $1.38*10^{-23} \text{ J/K}$ ) e  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície terrestre.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 NDVI

Os resultados obtidos correspondem à variabilidade do NDVI e da LST dos quatro períodos selecionados: 1987, 1998, 2006 e 2020 para cidade de Maceió – Alagoas, que estão descritos (Apêndice 1) e no (Apêndice 3). Com base na avaliação da cobertura vegetal a partir do NDVI (Figura 2), constatou-se uma mudança no uso e ocupação do solo significativa na região norte (N) e nordeste (NE) da cidade de Maceió, correspondente a região (RA 6) e noroeste (NW), correspondente à região (RA 7) – (Tabela 1).

Essa expansão causou mudanças significativas, também nas partes nordeste (NE) e sudoeste (SW) da cidade de Maceió, correspondendo aos bairros de Benedito Bentes e Antares, respectivamente. Além disso, não houve mudanças no uso e ocupação do solo nas Áreas de Proteção Ambiental (APA) Catolé e Fernão Velho, localizadas na parte oeste (W), entre os municípios Maceió e Satuba, que fazem parte da Região Metropolitana de Maceió (RMM) – (IBGE, 2021). Todo o processo de expansão urbana detectado pelo NDVI deve estar associado à migração populacional para Capital nas últimas décadas, em virtude de enchentes e inundações, crises econômicas e oportunidades de emprego/qualidade de vida (Gomez, 2018; Correia Filho et al., 2021; Oliveira-Júnior et al., 2021).

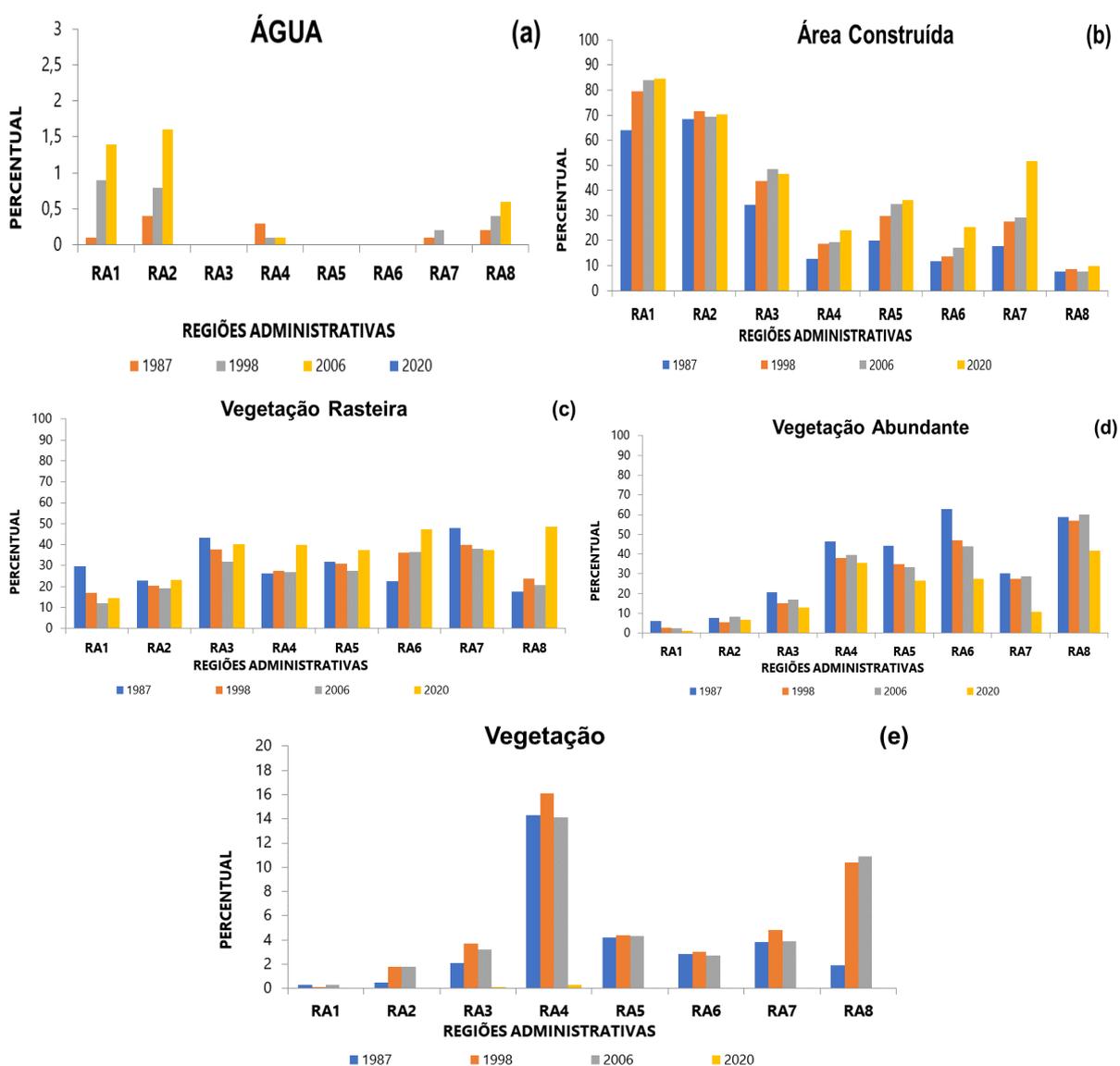


**Figura 2** – Avaliação Espacial do Uso e Ocupação do Solo na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.

Classes de vegetação esparsas, abundantes e densas nas partes centro-norte e NW de Maceió, que atualmente correspondem a RA6 e RA7 (Figura 1), em contraste com as classes de terra construída/nua na parte centro-sul foram destaques em 1987 (Figura 2). Recentemente Batista et al. (2021) mostraram uma redução significativa da área de vegetação (62,7%) a partir do NDVI - (Tabela 4/ Figura 3), sendo tal indicativo preocupante, pois indica a supressão da vegetação na Mata Atlântica, bioma ameaçado e que tem relação direta com a dinâmica das chuvas no NEB (Correia Filho et al. 2019 Vale destacar que pode causar uma futura crise hídrica na cidade de Maceió, que se tornou comum na última década no Sudeste do Brasil (SEB), principalmente nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (Marengo et al., 2015).

Os percentuais NDVI que está descrito no (Apêndice 2), corpos d'água / nuvens, solo nu / área construída, vegetação esparsa, vegetação abundante e vegetação densa nos anos 1987, 1998, 2006, 2020. (Figura 3a) mostra à pequena

intervenção do NDVI nas RAs, afetando pouco as áreas estudadas, (Figura 3b), mostra o grande avanço da área construída por toda cidade de Maceió e seu avanço ao longo dos anos, a grande diferença dos anos nas RAs é a RA7 com o aumento de 34%, comparando seu percentual com os demais anos. (Figura 3c) vegetação rasteira em 2020 a RA8 teve um aumento considerável de 31% no bairro de Ipioca (Figura 2), com isso a vegetação abundante (Figura 3d) da RA8 no ano de 2020, aonde o percentual chegou a 41,2% comparando com 2006, onde seu maior percentual foi de 60% uma redução de 17,2%. Houve uma similaridade com a RA6 onde teve o menor percentual (Figura 3d) de 35%. Vale destacar a vegetação (Figura 3e) no ano de 2020 somente a RA4 mostra um percentual de 0,3%, as demais regiões não houve nenhum percentual.



**Figura 3** – Percentuais NDVI, Corpos d'água / Nuvens (a), solo nu / área construída (b), vegetação esparsa (c), vegetação abundante (d) e vegetação densa (e) no período de 1987 a 2020.

Os percentuais apontados acima (Figura 3) mostram as grandes proporções, com maiores valores do NDVI, comprovam que RA6 e RA7 foram às regiões mais modificadas com o tempo em que a vegetação diminuiu gradativamente e o aumento da área construída teve aumento considerado, a vegetação abundante (RA6) de 62,7% para 27,5% uma diminuição de 35% no período avaliado/estudo. As RA1 e RA2 (Figura 3b) os percentuais obtidos no NDVI mostraram uma grande mudança na vegetação nos bairros situados ao sul da cidade, sendo eles o centro e farol, por conta dos seus empreendimentos comerciais e habitacionais que aumentou consideravelmente ao logo dos anos, sendo assim praticamente área construída.

Notadamente, as maiores concentrações de NDVI negativos ocorreram novamente nas regiões RA6 e RA7, com percentual (Figura 3b) de 10,7%, que estão diretamente relacionados à expansão urbana da cidade de Maceió, sendo identificados em estudos anteriores (Araújo; Di Pace, 2010, Santiago; Gomes, 2016) e recentemente (Correia Filho et al., 2019; Batista et al., 2021).

Comparativamente, o NDVI obtido entre 1987 e 2020 (Figura 2), mostrou o maior percentual (figura 3b) de área construída na região (RA7), (de 17,8% para 51,8%) aumentou 34% no período estudado, isso se deve à expansão dos conjuntos habitacionais, com destaque na categoria solo maior exposição e corredores viários devido à implantação de programas do Governo Federal (PAC e PCMMV) - (Carvalho, 2015; Correia Filho et al., 2019; Batista et al., 2021). Vale ressaltar que a categoria de vegetação é gradativamente reduzida, com diminuição de 30,4% para 10,7%, devido à expansão das regiões N e NW de Maceió, que por sua vez alterou gradativamente a vulnerabilidade do ambiente físico nas regiões sul (S) e sudeste (SE) de Maceió devido às chuvas, com enchentes e deslizamentos de terra na região por décadas (Nascimento et al., 2018; Oliveira-Júnior et al., 2021; Batista et al., 2021).

Segundo Almeida et al. (2015), em 1988 houve a instalação de novas indústrias no Distrito Industrial (situado na porção NW, no RA6), que contribuiu para o desenvolvimento e expansão urbana nos bairros adjacentes. No ano de 2002, antigas áreas ocupadas, no bairro do Tabuleiro do Martins, foram impermeabilizadas com a expansão resultante da construção de novos loteamentos e edificações

adjacente aos bairros Cidade Universitária, Clima Bom e Santos Dumont. Este processo de desenvolvimento acelerado também foi verificado no município de Concórdia/SC, devido à instalação de grandes agroindústrias, que ainda hoje são as maiores empresas alimentícias do país (Coelho et al., 2011).

Em meados da década de 2000, houve diversas transformações no uso e ocupação do solo nas porções N-NW correspondentes as RA6 e RA7 da cidade de Maceió, acentuados após a implementação dos programas do Governo Federal (PMCMV e PAC) em 2008 (Correia Filho et al., 2019). Por conta dessas implementações habitacionais, seguido da inserção de novos comércios locais como lojas, shoppings e locais de lazer (Costa et al., 2010) resultou na substituição de vegetação esparsa, abundante e densa para solo nu / área construída.

No ano de 2009 a construção de diversos conjuntos habitacionais teve início na porção N da cidade, por exemplo, o Complexo do Benedito Bentes (CBB), Cidade Sorriso I e II, para suprir algumas carências habitacionais, para deslocar a população de áreas de vulnerabilidade social, tais como, as favelas do Jaraguá, Cidade de Lona (Eustáquio Gomes), em Torre (Orla Lagunar) e nas favelas Sururu de Capote, Canaã e River Plate (Tabuleiro do Martins). Com isso, em termos de novos conjuntos habitacionais, a área construída na parte alta da cidade é mais concentrada, principalmente nos bairros da Cidade Universitária e do Benedito Bentes (Costa et al. 2010; Correia Filho et al., 2019). Os dois bairros citados anteriormente apresentam alta densidade populacional, desenvolvimento urbano desordenado, baixo investimento em serviços de infraestrutura urbana e altas taxas de inundação, os quais aumentaram a densidade dessas localidades e agravaram os problemas de mobilidade urbana existentes.

Em 2020 (Figura 3d), essas mudanças ocorreram em toda Maceió, com destaque para os bairros da Cidade Universitária, Benedito Bentes, Tabuleiro dos Martins, entre outras. Destaca-se o bairro Benedito Bentes, dominados pela densa e rica vegetação da Mata Atlântica, que provocou profundas mudanças na área após a implantação dos programas federais relacionado à necessidade de expansão urbana, com a comunidade de Clima Bom apresentando um alto grau de variabilidade no NDVI, de 0,15 em 1987 para -0,20 em 2020. Os resultados que foram obtidos corroboram com estudo realizado anteriormente por Correia Filho et al. (2019), sendo identificado alta variabilidade no NDVI neste bairro.

Em geral, as mudanças no uso e ocupação do solo de vegetação relativa à área construída apresentou um aumento significativo em 1998, onde começou a ocupação. Em 2006 e 2017, o NDVI mostrou basicamente que toda a parte alta de Maceió foi ocupada por construções, ou solo nu. As regiões classificadas como vegetação densa/abundante foram substituídas por ocupações urbanas, com a ampliação de construções de novos conjuntos habitacionais e empreendimentos comerciais.

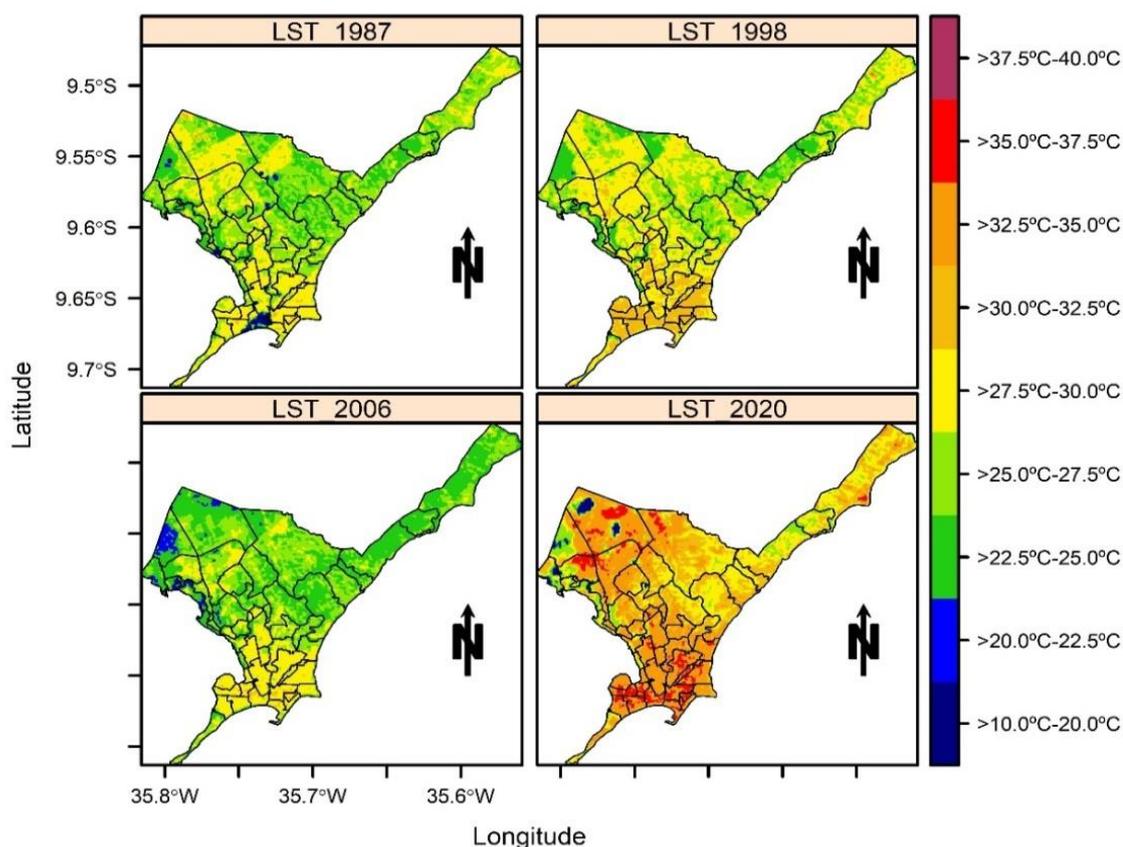
## 5.2 LST

A variabilidade espacial da LST (Apêndice 3) (Figura 4) na cidade de Maceió mostrou que durante os anos de 1987, 1998 e 2006 (Figuras 4a-4c), a LST variou entre 22,5°C a 32,5°C, sendo que tais diferenças não ultrapassaram 7,5°C (entre 25,0°C e 32,5°C), exceto quando a LST foi inferior a 22,5°C, devido à presença de nuvens. Tais diferenças identificadas no estudo se devem aos empreendimentos comerciais e habitacionais na área de estudo (Santiago; Barros, 2016; Correia Filho et al., 2019). Destaque para os bairros situados na porção S da cidade, neste caso os bairros do Centro e Farol, situados nas regiões RA2 e RA3, respectivamente, com os maiores registros de LST entre 27,5°C – 32,5°C.

Os anos de 1987 e 1998 apresentaram aumento significativo da LST, com um aumento no percentual de 45,0% para 60,0% (RA7) na faixa entre 22,5°C e 25,0°C a 27,5°C e 30,0°C (Batista et al., 2021). Esse aumento está relacionado à categoria de substituição vegetação por área construída (asfalto ou concreto) ou solo nu, que retém mais calor (Santiago e Gomez, 2016). Anteriormente, Araújo e Di Pace (2010) avaliaram o LST na cidade de Maceió entre 1990 e 2003, os maiores valores de LST ocorreram entre 1998 e 2003, respectivamente.

Em 2020, o LST voltou a aumentar significativamente em relação aos anos anteriores, na porção NW da cidade entre 32,5°C e 37,5°C, com um percentual superior a 50,0% e uma variação entre 7,5-10,0°C (Figura 3d). Esse aumento da LST está diretamente relacionado à categoria de área construída (asfalto ou concreto), sendo substituído pela categoria de vegetação ou o solo nu de Maceió, que retém mais calor (Santiago; Gomez, 2016, Alves et al., 2019). Outro fator que resultou no aumento na LST foi à migração populacional de outras cidades para capital Maceió, principalmente após os planos PAC e PMCMV, que sucedeu na

implementação de uma série de empreendimentos nas regiões mencionadas com a instalação de shopping, conjuntos habitacionais, faculdades e fábricas (Santiago; Gomez, 2016; Correia Filho et al., 2019).



**Figura 4** – Avaliação temporal da LST (°C) na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.

Em contrapartida, detectou tal aumento na LST aproximadamente 1,5°C em outros bairros da cidade, por exemplo, na Chã da Jaqueira e Chã de Bebedouro (ambas situadas na RA4), localizados próximo ao Parque Municipal de Maceió (APA) e próximo a Lagoa Mundaú. Os bairros Santos Dumont e Rio Novo ambas nas regiões RA4 e RA7 não houve também aumento da LST, devido à preservação do bioma Mata Atlântica, resultado similar ao obtido por Correia Filho et al. (2019) na avaliação da LST na parte alta de Maceió, onde as áreas próximas as APA situada nos bairros mencionados, esse aumento variou entre 0,5°C e 2,0°C.

Isso se deve a vegetação densa que aumenta a ET e resfria a superfície (Price, 1990; Boegh et al., 1998). De acordo com Lapola et al. (2019), áreas de vegetação protegidas são importantes para o processo de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas nas cidades, além de manter o funcionamento do ecossistema, preserva os polinizadores, recursos hídricos e serviços ligados às nossas necessidades básicas e à segurança alimentar. Segundo Braz et al. (2018) observaram que em áreas verdes apresentam baixas temperaturas, dando uma ideia incorreta que é influenciada apenas pela vegetação, quando na verdade a baixa temperatura do entorno é influenciada pela baixa densidade de construções.

## 6 - CONCLUSÕES

Mudanças significativas no uso e ocupação do solo ocorreram em Maceió, principalmente na redução das categorias de vegetação densa e abundante no bioma Mata Atlântica, encontradas nos bairros do Benedito Bentes, Cidade Universitária e Clima Bom, correspondentes a R6 e R7. Especialmente, destaca-se a expansão urbana ao N e NW da cidade de Maceió, devido à instalação de diversos empreendimentos comerciais e residenciais.

As mudanças no uso e ocupação do solo resultaram em aumento considerável da LST em Maceió, novamente com destaque as porções N e NW, com gradiente de temperatura entre 10-15°C, e isso é de fato a formação e intensificação da ICU na RMM, a partir de Maceió – região com maior adensamento urbano. Essas mudanças são, em parte, resultado dos programas PAC e PMCMV, que reduz o déficit habitacional, não descartam a migração da população em busca de emprego e são causados pelas enchentes comuns em Alagoas.

Como mitigação aos efeitos da LST e da degradação ambiental na cidade de Maceió é sugerido à intervenção paisagística via arborização urbana, comum em diversas cidades brasileiras e do mundo. O processo de arborização urbana contribuiria para o aumento da sensação de conforto e bem-estar da população e, ainda pode preservar as regiões de nascentes que ajudam manutenção dos rios que integram o abastecimento de água da cidade.

As informações obtidas do NDVI e da LST a partir das técnicas de sensoriamento remoto são de grande valia no monitoramento da qualidade ambiental e no planejamento futuro da cidade de Maceió/AL, no sentido de minimizar os efeitos do aumento da temperatura e do processo de degradação ambiental.

## **PROJETO FUTURO/RECOMENDAÇÕES**

- Avaliar a evolução das categorias do NDVI juntamente com densidade populacional, neste caso, verificação do antes e depois das construções a partir do PAC e PCMMV, e sua respectiva anomalia na indicação se expansão interferiu na dinâmica da chuva.
- Relacionar as mudanças de uso e ocupação do solo devido à expansão urbana e do aumento de temperatura, e se os efeitos produzidos foram atenuados devidos as APA's.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIOLY, C. & DAVIDSON, F. **Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana**. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2011.
- ALMEIDA, A.; NETO, J. **Análise do processo de urbanização e impermeabilização do solo da bacia endorreica do tabuleiro do martins**, Maceió-al. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2015. 12 p.
- ALMEIDA, C.M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- ALVES, E. D. L. **Ilha de Calor Urbana e Simulações: aplicação metodológica para o reordenamento do território**. Caminhos de Geografia v. 18, n. 61, p. 33-43, março/2017.
- ALVES, L.E.R.; CORREIA FILHO, W.L.F.; GOMES, H.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; SANCHES, F.O. **Space-Temporal evaluation of Changes in Soil Use and Soil Cover And Temperature in the Metropolitan Region of Baixada Santista**. Bioscience Journal (Online), 35:1438-1449, 2019.
- AMARAL CARRASCO, R., PRADO OSCO, L., ENNES CICERELLI, R., SILVA, P. A., & MARQUES RAMOS, A. P. (2018, July). **Mapeamento Da Mudança Da Temperatura de Superfície na Região do Pontal do Paranapanema nos Últimos 30 Anos**. In Colloquium Exactarum (Vol. 10, No. 3).
- ARAÚJO, T.L.; DI PACE, F.T. **Valores instantâneos da temperatura da superfície terrestre na cidade de Maceió-AL utilizando imagens do satélite TM/Landsat 5**. Revista Brasileira de Geografia Física, 3: 104-111, 2010.
- AYOADE, J. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1983. 332p.
- BARBIRATO, G. M. **Modelo de balanço de energia aplicado ao caso da cidade de Maceió-AL, e suas implicações para o planejamento urbano**. Fórum Patrimônio. Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./ jun. 2010.
- BARBOSA, M. P., MORAES NETO, J. M., FERNANDES, M. F., SILVA. 2007. **Estudo da degradação de terras – município de Picos - PI**. In: Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis (2007). Anais São José dos Campos: INPE. p.4357-4363.
- BATISTA, B. A.; CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTIAGO, D. B.; SANTOS, C. T. **Avaliação da Expansão Urbana na Cidade de Maceió, Alagoas – Nordeste do Brasil**. Research, Society and Development, v. 10, n. 11, p. e253101119537, 2021.
- BELLÓ, S. L. **Avaliação do impacto da ocupação urbana sobre as características hidrossedimentométricas de uma pequena bacia hidrográfica de encosta**. 2004. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; HANAN, H.; KABAT, P.; LESCH, L. **A remote sensing study of the NDVI-Ts relationship and the transpiration from sparse vegetation**

**in the Sahel based on high resolution data.** Remote Sensing of Environment (RSE)., 69, 224 – 240, 1998.

BRAGA, JÚLIA OLIVEIRA. **Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria – DF.** Brasília, 2016. 33 páginas. Monografia de graduação (Disciplina Prática e Pesquisa de Campo 2), - Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instrução Normativa nº 33, de 9 de julho de 2009. **Programa: Urbanização Regularização e Integração de Assentamentos Precários.**

BRAZ, A.M.; KUNKEL, A.C.; BONI, P.V.; BRAZ, A.M.; MARTINS, A.P. **Áreas Verdes e Temperatura da Superfície na Cidade de Três Lagoas/MS.** Revista Formação (Online), v. 25, n. 45, maio-ago/2018, p. 93-122.

BRITO, Fausto; SOUZA, Joseane de. **Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza.** São Paulo em perspectiva, v. 19, n. 4, p. 48-63, 2005.

BUCCHERI-FILHO, A. T.; TONETTI, E. L. **Qualidade ambiental nas paisagens urbanizadas.** Revista Geografar. Curitiba: UFPR, v.6, n.1, p.23-54, jun./2011.

CABRAL, S. L.; REIS, R. S. **Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica.** Revista de Geografia (UFPE), v. 32, n. 2, p. 147-157, 2015.

CARVALHO, Huana Assanuma Ota de. **A Caixa Econômica Federal como agente da política habitacional: um estudo a partir do PAC e PMCMV em Carapicuíba.** 2015. Dissertação (Mestrado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

CARVALHO, J.A.M.; GARCIA, R.A. **Estimativas decenais e quinquenais de saldos migratórios e taxas líquidas de migração do Brasil, por situação de domicílio, sexo e idade, segundo unidade da federação e macrorregião, entre 1960 e 1990 e estimativas de emigrantes internacionais do período 1985/1990.** Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2003. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracao/index.html>., Acessado em 23 de novembro de 2020).

COELHO, Andutsa Aline et al. Relatório de Campo – **Aspectos do Desenvolvimento Econômico e Urbano de Concórdia – SC e suas Implicações no Meio Ambiente Urbanos.** Revista Discente Expressões Geográficas, Florianópolis – SC, 2011.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTIAGO, D. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; SILVA JUNIOR, C. A.; OLIVEIRA, S. R. S.; SILVA, E. B. D.; TEODORO, P. E. **Analysis of environmental degradation in Maceió-Alagoas, Brazil via orbital sensors: a proposal for landscape intervention based on urban afforestation.** Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 24, p. 100621, 2021.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTIAGO, D. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; SILVA JUNIOR, C. A. **Impact of Urban Decadal Advance on Land Use and Land Cover and Surface Temperature in the City of Maceió, Brazil.** Land Use Policy, v. 87, p. 1-11, 2019.

- CORREIA, M. F. **Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do rio São Francisco: Um estudo numérico e observacional**. São Paulo, 2001. 181p. Tese de Doutorado do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- CORTESE, T. T. P.; KNISS, C. T.; MACCARI, E. A. **Cidades inteligentes e sustentáveis**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2017.
- DA COSTA, M. C. A., DA COSTA, B. C. A., & DE, L. **Expansão Urbana do Município de Maceió/Al: Uma Análise da Distribuição Espacial das Unidades Habitacionais Construídas Após O Censo 2010**.
- DAEE, 1990. **Redação proposta para os artigos da Seção de Recursos Hídricos das Leis, Orgânicas Municipais no Estado de São Paulo**. São Paulo. 4p.
- DAGNACHEW, M.; KEBEDE, A.; MOGES, A.; ABEBE, A. **Effects of Climate Variability on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Gojeb River Catchment, OmoGibe Basin, Ethiopia**. *Advances in Meteorology*, 2020.
- DE BARROS, Marcelo Paes; DE MUSIS, Carlo Ralph. **Uma abordagem sistêmica sobre as implicações entre a fragmentação das áreas verdes e o ambiente térmico do espaço urbano**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 9, n. 9, p. 1999-2017, 2013.
- DEPARIS, S. (2014). **Implicações no meio ambiente decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do município de Concórdia-SC**. Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação – Especialização em Gestão Ambiental em Municípios. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira – PR, 40p.
- DE SOUZA, D. O.; DOS SANTOS ALVALÁ, R. C.; DO NASCIMENTO, M. G. **Urbanization effects on the microclimate of Manaus: A modeling study**. *Atmospheric Research - Journal - Elsevier*, v. 167, p. 237-248, 2016.
- FREITAS, C.F.S. **Ilegalidade e degradação em Fortaleza: os riscos do conflito entre a agenda urbana e ambiental brasileira**. *URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 6, n. 1, p. 109-125, 2014.
- GOMES, J. D. S., 2018. **Habitação, desorganização ao social e violência: situação e perspectiva no bairro Benedito Bentes**. Maceió-AL. <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/3033> (Acessado em 22 de fevereiro de 2021).
- GRANDE, M.; GALVÃO, C.; MIRANDA, L.; RUFINO, I. **Environmental equity as a criterion for water management**. *Proceedings of ICWRS 2014*, v. 364, p. 519-525, 2014.
- GUHA, S.; GOVIL, H.; DEY, A.; GILL, N. **Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy**. *European Journal of Remote Sensing*, 2018, 51: 667-678, 2018.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2020**. Maceió: IBGE, 2021.
- JACOB, M., FRANKL, A., BEECKMAN, H., MESFIN, G., HENDRICKX, M., GUYASSA, E., NYSSSEN, J. **North Ethiopian Afro-Alpine Tree Line Dynamics and Forest-Cover Change Since the Early 20th Century**. *Land Degradation & Development* 26, 654-664, 2015.

- LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; ABREU, L. V. **Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos**. Fórum Patrimônio, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.
- LAPOLA, D.M. et al. **Uma avaliação de vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas para as áreas protegidas do Brasil**. *Conservar. O Biol.*, 34, 427-437, 2019.
- LI, L.; TAN, Y.; YING, S.; YU, Z.; LI, Z.; LAN, H. **Impact of land cover and population density on land surface temperature: case study in Wuhan, China**. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8:884-993, 2014.
- LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor nas metrópoles**. O exemplo de São Paulo. São Paulo, Hucitec, 1985.
- LOPES, H.; CANDEIAS, A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; SOBRAL, M. do C.M. & PACHECO, A.P. **Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas**. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.11, 2010, p.1210–1219.
- LYONS, W. A.; TREMBACK, C. J.; PIELKE, R. A. **Applications of the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) to provide input to photochemical grid models for the Lake Michigan Ozone Study (LMOS)**. *Journal of Applied Meteorology and Climatology (JAMC)*, 34, 1762-1786, 1995.
- MARENGO, José A. **O futuro clima do Brasil**. *Revista USP*, n. 103, p. 25-32, 2014.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, A. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; Mendiondo, E. M.; Obregón, G.; & Sampaio, G. (2015). **A seca e a crise hídrica de 2014–2015 em São Paulo**. *Revista USP*, 106, 31–44.
- MARTÍN, A., DIAZ-RAVINA, M., CARBALLAS, T. **Short-and medium-term evolution of soil properties in Atlantic forest ecosystems affected by wildfires**. *Land Degradation & Development*, v. 23, p. 427-439, 2012 <https://doi.org/10.1002/ldr.1078>. (Acessado em 21 de janeiro de 2021).
- MASCARÓ, L. **Urbanenvironment**. Porto Alegre: Sagra, DC Luzzatto, 1996.
- MENEZES, G.; MOURÃO, L. **Programa Minha Casa Minha Vida sob a perspectiva da qualidade de vida**. *Psicoperspectivas*, 16, 149–163, 2017.
- MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: USP/Igeog, 1991.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP/IG, 1976.
- NEVES, M. G. F. P.; SOUZA, V. C. B.; PEPLAU, G. R.; SILVA JÚNIOR, R. I.; PEDROSA, H. T. S.; CAVALCANTE, R. B. L. **Características da bacia do Riacho Reginaldo em Maceió-AL e suas implicações no escoamento superficial**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais..São Paulo: SBRH, 2007.
- OLIVEIRA, L. M. M. **Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecônomo ilha do bananal por sensoriamento remoto**. *Revista de Geografia (Recife)*, v.30, n.3, p. 209-225, 2012.

- PAL, S. & ZIAUL, S. (2017). **Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre**. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 20(1), 125–145.
- PEREIRA, R. M. LEÃO, T. P.; SANDRI, D.; BAPTISTA, G. M. De. M & CUNHA, L. S. Da. (2019). **Modelagem da Temperatura do Ar na Região do Distrito Federal – Brasil, por meio de Dados Atmosféricos do Sensor AIRS**. Revista Brasileira de Meteorologia, 34(2), 275-282.
- Plano Municipal de Assistência Social de Maceió (PMAS-MACEIÓ) 2014 – 2017. **Plano Diretor da Cidade de Maceió**, 106 p., 2014.
- POLIDORI, Mauricio Couto. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. 2005.
- PONSO, A. G. et al. **Campo Térmico da Cidade de Três Lagoas (MS): comparação urbano/rural**. Revista Geonorte, edição especial, n. 2, n. 4, p. 770 – 781, 2012.
- PRICE, J. C. **Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS), 28, 940 – 948, 1990.
- Quintano C, Fernández-Manso A, Calvo L, Marcos E, Valbuena L (2015) **Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems**. International Journal of Applied Earth Observation 36, 1-12.
- RIBEIRO, R.; HOLANDA, F. & COELHO, J. (2012). **Índices de qualidade configuracional urbana caso do Distrito Federal, Brasil**. EURE (Santiago), 38 (114), 229-255.
- ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: EdUnb, 2001. (Coleção arquitetura e urbanismo).
- ROUSE, J.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D.; HARLAN, J. **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation: Final Report**. Greenbelt: NASA/GSFC, 1974, 371 p.
- R Development Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing version 3.6-4**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.r-project.org>, ISBN 3-900051-07-0
- SANTIAGO D.B.; GOMES H.B. **Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL, por meio de Dados Orbitais do Landsat 5**. Revista Brasileira de Geografia Física, 9: 793-803, 2016.
- SANTIAGO, D. B.; GOMES, H. B.; FERREIRA, L. S. **Ilha de Calor e a Influência no Conforto Térmico da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (Ride)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 1, p. 213-225, 2019.
- SANTOS, D. V. C. D. **Emissão de radiação térmica de superfícies externas de edificações e sua relação com a configuração urbana de Viçosa–MG**. 2014.
- SANTOS, S.V.O. **As mudanças na paisagem dos bairros de Cruz das Almas e Jacarecica, em Maceió–AL, sob a ótica da geomorfologia urbana**. 2014, 75 p. Monografia (Geografia Bacharelado) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SANTOS Y. S.; SILVA E. B., OLIVEIRA-JÚNIOR J. F., SANTOS P. J., COSTA L. M. B. **Diagnóstico da Morbidade e Mortalidade dos casos de Leptospirose no Nordeste Brasileiro entre 2000 a 2015**. Enc. Biosfera 2018, 15:107-118, 2018.

SANTOS, E.M.S., CORREIA FILHO, W.L.F., GOMES, H. B., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., FALCÃO, N.A.M., COSTA, M., GOIS, G., 2021. **Espaço-Temporalidade dos Focos de Calor na Região Metropolitana de Maceió**. Revista Brasileira de Meteorologia 35, 1029-1043.

SILVA, Elias. **Avaliação de impactos ambientais**. Viçosa: UFV/DEF, 2001. 68 p.

SOBRINO, J. A.; Jiménez-Muñoz, J. C.; PAOLINI, L. **Recuperação da temperatura da superfície terrestre a partir de LANDSAT TM 5**. Sensoriamento remoto do ambiente, v. 90, n. 4, p. 434-440, 2004.

SORRE, M. **Objeto e método da climatologia**. Tradução de José Bueno Conti, **FFLCH, USP**. Original em francês: Traitè de climalogiebiologiqueetmediclé. Revista do Departamento de Geografia, n.18, p.89, 2006.

SOUZA, M. L.; RODRIGUES, G. B. **Planejamento urbano e ativismos sociais**. São Paulo: UNESP, 2004.

SOUZA, M.L. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

SOUSA J. O.; MARTINS FILHO J. **Programa Minha Casa Minha Vida e os Impactos Socioambientais em Timon-MA: Uma Análise dos Conjuntos Habitacionais Padre Delfino e Julia Almeida**. Revista Equador, 8: 133-151, 2019.

STIVARI, S. M. S. **Um estudo da brisa lacustre do Lago de Itaipu**. São Paulo, 1999. 181p. Tese de Doutorado do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

TUCCI, Carlos EM. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

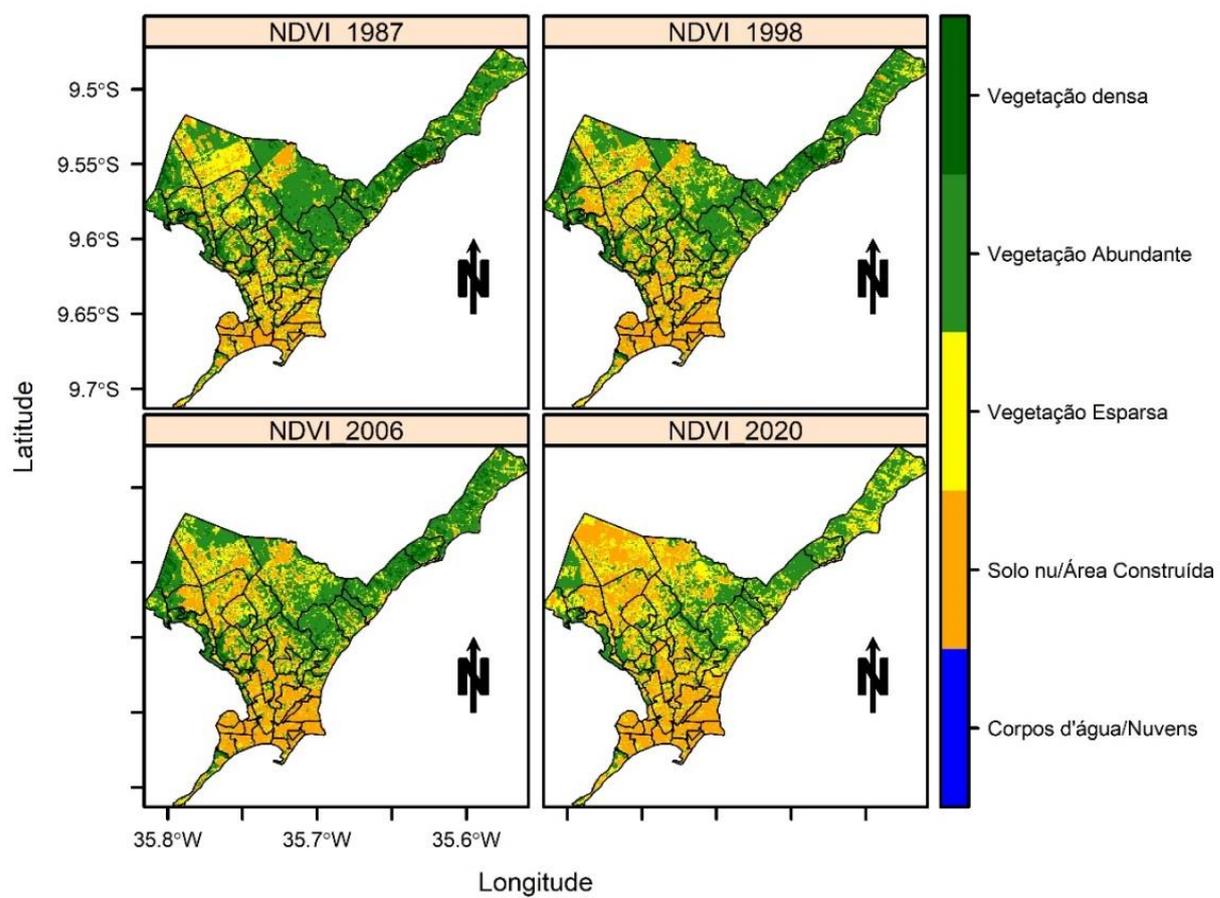
USGS - United States Geological Survey. **Using the USGS Landsat 8 Product**, <https://Landsat.usgs.gov/using-usgs-Landsat-8-product>, 2018 (Acessado em 23 de novembro de 2018).

VILLAÇA, F. **Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil**. In O Processo de Urbanização no Brasil: falas e façanhas. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, p.171, 1999.

## APÊNDICES

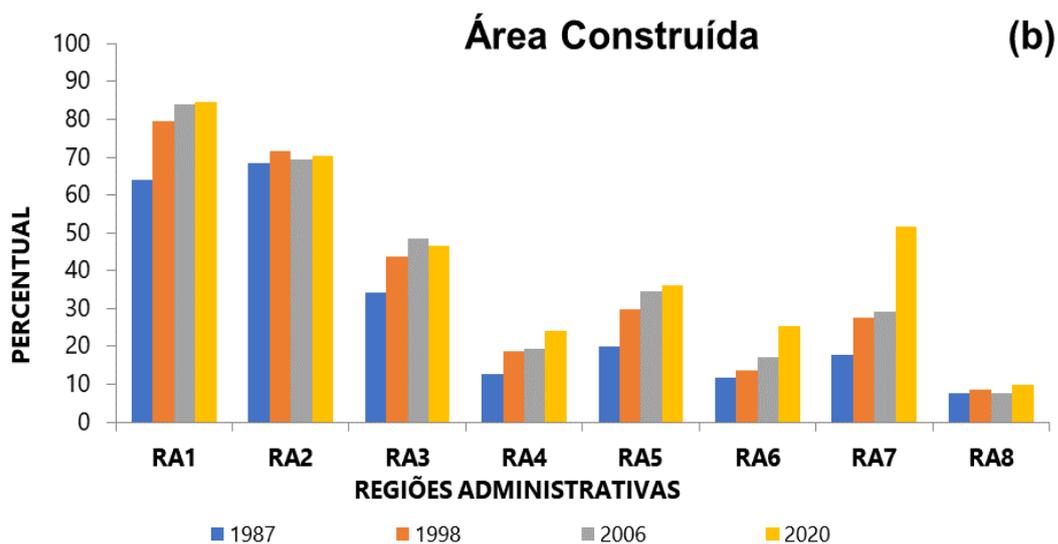
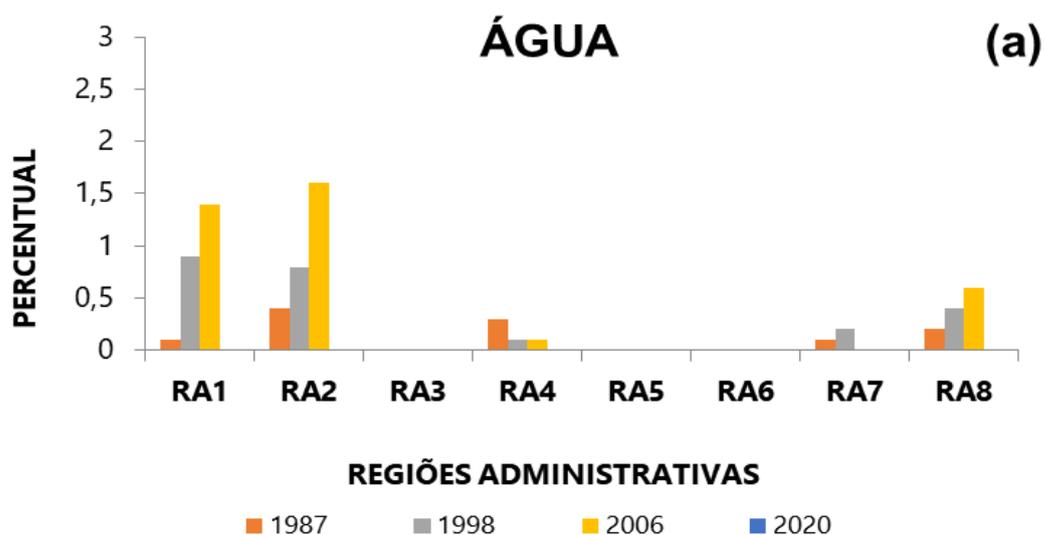
## Apêndice A1

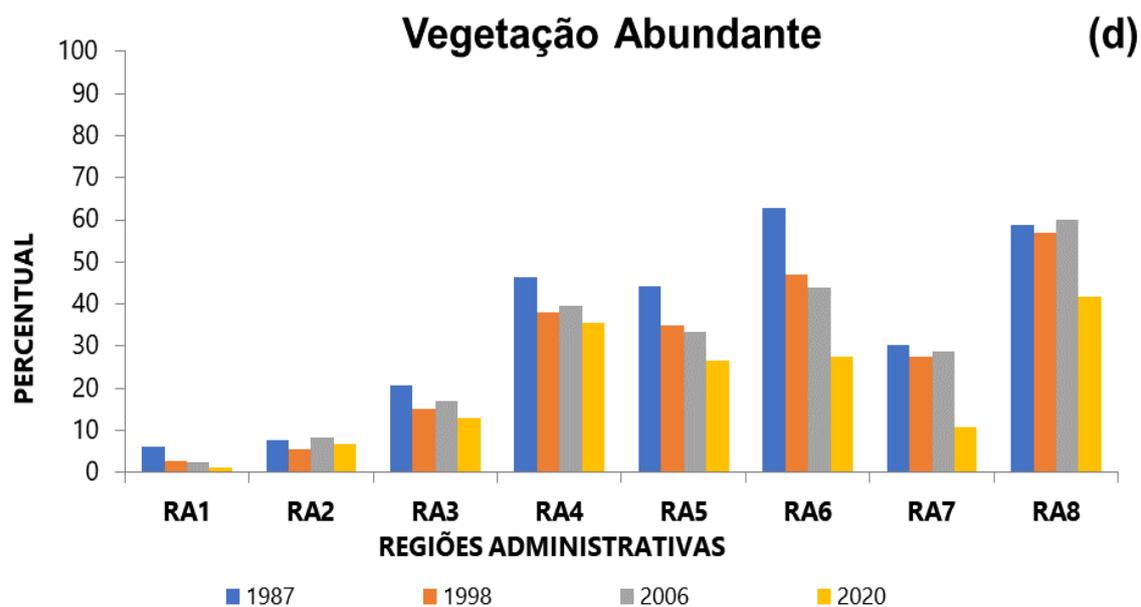
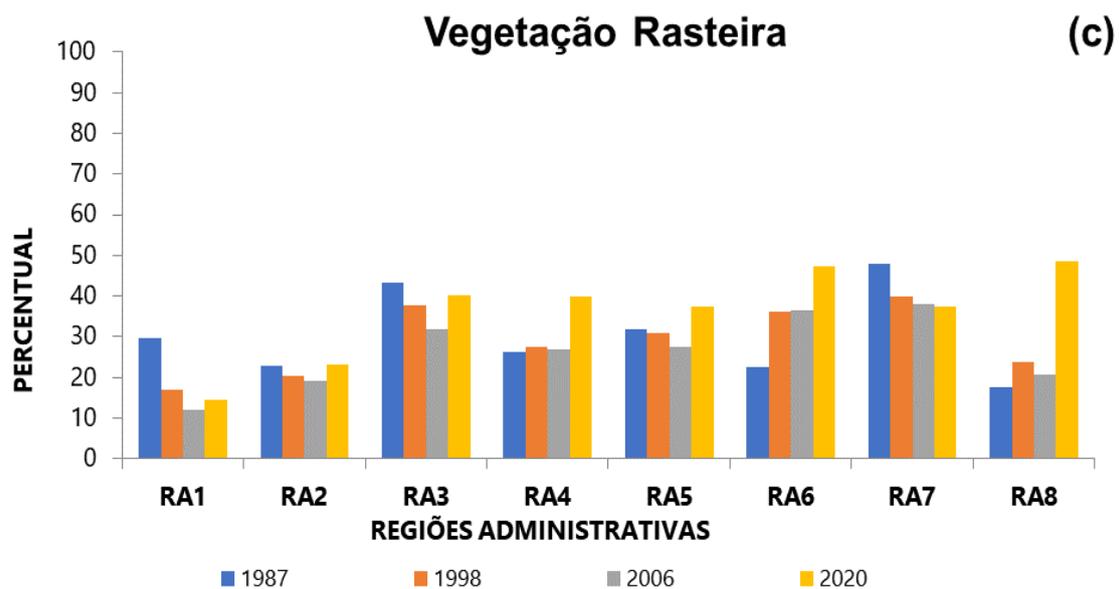
Avaliação Espacial do Uso e Ocupação do Solo na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987,1998, 2006 e 2020.

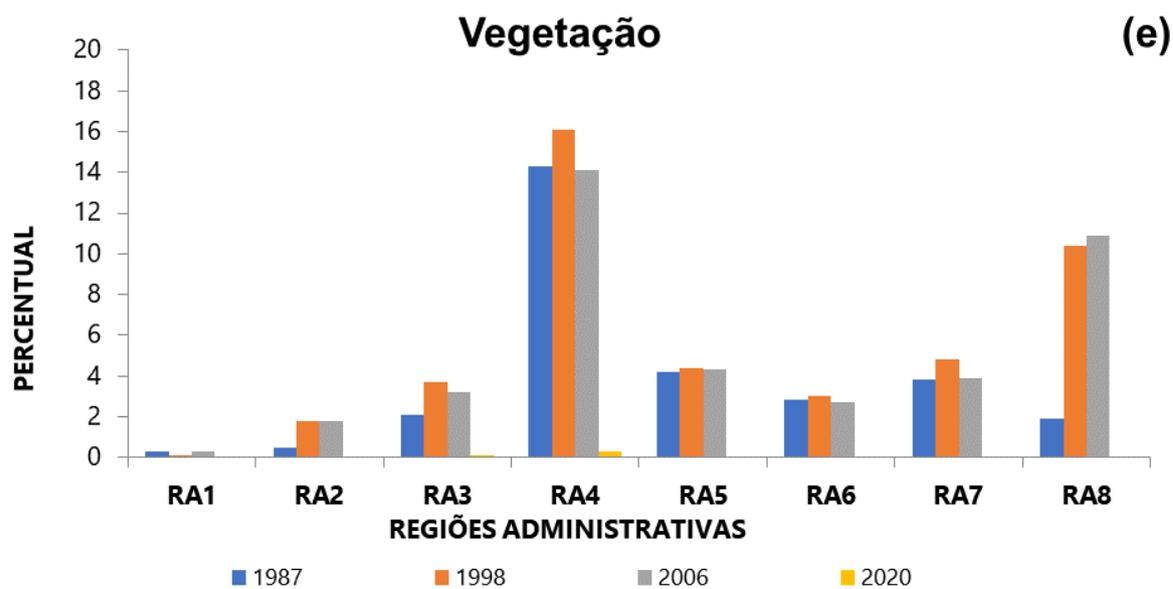


## Apêndice A2

Percentuais NDVI, Corpos d'água / Nuvens (a), solo nu / área construída (b), vegetação esparsa (c), vegetação abundante (d) e vegetação densa (e) no período de 1987 a 2020.

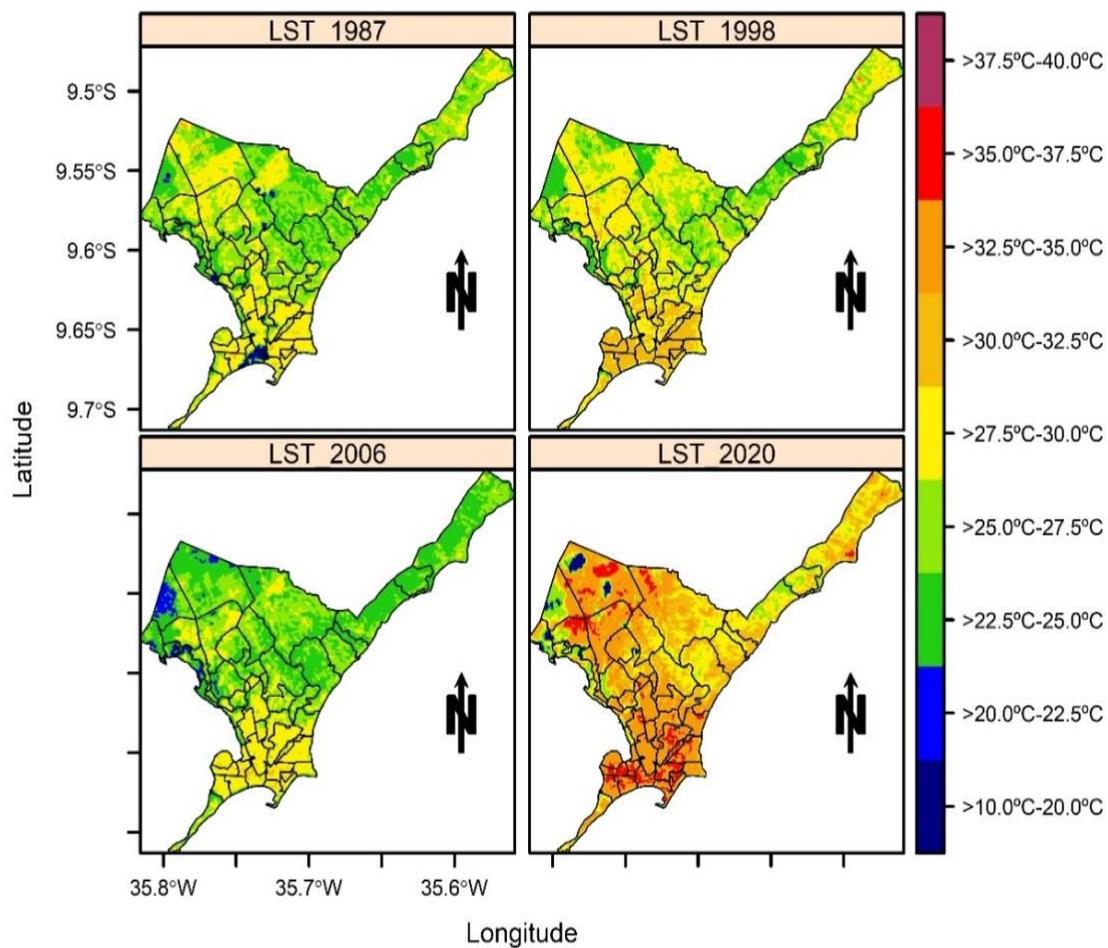






### Apêndice A3

Avaliação temporal da LST (°C) na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.



Parte dos resultados apresentados foram publicados na revista *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, e253101119537, no ano de 2021.

Research, Society and Development, v. 10, n. 11, e253101119537, 2021  
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19537>

## Avaliação da expansão urbana na Cidade de Maceió, Alagoas – Nordeste do Brasil

Evaluation of the urban expansion in the City of Maceió, Alagoas - Northeast of Brazil

Evaluación de la expansión urbana en la Ciudad de Maceió, Alagoas - Noreste de Brasil

Recebido: 17/08/2021 | Revisado: 26/08/2021 | Aceito: 28/08/2021 | Publicado: 30/08/2021

**Bárbara Alves Batista**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0034-0991>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [barbara.alba18@gmail.com](mailto:barbara.alba18@gmail.com)

**Washington Luiz Félix Correia Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4029-4491>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [wlfefm@gmail.com](mailto:wlfefm@gmail.com)

**José Francisco de Oliveira Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4029-7605>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [jose.junior@scatu.fal.br](mailto:jose.junior@scatu.fal.br)

**Dimas de Barros Santiago**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7118-8467>  
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
E-mail: [dimas.barros91@gmail.com](mailto:dimas.barros91@gmail.com)

**Carla Taciane dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-9346>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [carlataciane01@gmail.com](mailto:carlataciane01@gmail.com)

### Resumo

O crescimento das cidades juntamente com a formação desordenada de grandes metrópoles ao redor do mundo resulta em grandes mudanças no uso e ocupação do solo. Porém, há poucos estudos que relacionem a expansão urbana e seus efeitos nas cidades do Nordeste do Brasil (NEB). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a expansão urbana em Maceió-Alagoas entre 1985 e 2020 a partir de produtos orbitais *Land Surface Temperature* (LST) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), com a finalidade de detectar as mudanças e os seus efeitos ambientais. Para isto foram utilizados produtos orbitais adquiridos dos sistemas-sensores Landsat 5/Thematic Mapper (TM) e 8/Operational Land Imager (OLI). No estudo utilizaram-se quatro imagens para a observação da variação espaço-temporal da urbanização, correspondente aos anos de 1987, 1998, 2006 e 2020. Os mapas temáticos de NDVI e LST foram gerados a partir do software de ambiente R. Os resultados obtidos apontaram alterações substanciais no uso e ocupação do solo detectado pelo NDVI, e aumento na LST ao longo dos 35 anos. Tal variabilidade ocorreu nos bairros localizados na porção norte e noroeste da cidade, resultante dos programas de incentivo do Governo Federal na década de 2009, principalmente o Complexo do Benedito Bentes (CBB) com as maiores transformações no uso e ocupação do solo, principalmente o maior aumento na LST entre 7,5-10,0°C. Os efeitos produzidos pela expansão urbana foram atenuados devido as áreas de proteção ambiental.

**Palavras-chave:** Land surface temperature; Degradação ambiental; Normalized difference vegetation index; Nordeste do Brasil.

### Abstract

The growth of cities, along with the disorderly formation of large metropolises around the world, results in major changes in Land Use. However, few studies relate the urban sprawl and its effects on the cities of the Northeast of Brazil (NEB). Thus, this study aimed to evaluate the urban sprawl in Maceió-Alagoas between 1985 to 2020 from orbital *Land Surface Temperature* (LST) and *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) products to detect the changes and their environmental effects. This study used orbital products acquired from the systems-sensors Landsat 5 / Thematic Mapper (TM) and 8 / Operational Land Imager (OLI). The study used four images to observe the Spatio-temporal variation of urbanization, corresponding to the years 1987, 1998, 2006, and 2020. It used the environment software R for the generation of NDVI and LST thematic maps. The results obtained pointed out substantial changes in the Land Use detected by the NDVI and increased LST over the 35 years. Such variability occurred in the neighborhoods located in the northern and northwestern portion of the city, resulting from the incentive programs of the Federal Government in 2010, mainly the Benedito Bentes Complex (CBB), with the most significant transformations in the use and occupation of the soil, mainly the largest increase in LST between 7.5-10.0 °C. The effects produced by urban sprawls have been mitigated due to the environmental protection areas.