



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

VITOR HUGO ARANDA FERREIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MULTITEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA

Orientador: Dr. Adriano Marlisom

BELÉM

AGOSTO, 2015



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

VITOR HUGO ARANDA FERREIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MULTITEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Adriano Marlisom

BELÉM

AGOSTO, 2015

Silva, Vitor Hugo Aranda Ferreira

CARACTERIZAÇÃO MULTITEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA/ Vitor Hugo Aranda Ferreira Silva. - Belém, 2015.

49 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

1. Sensoriamento remoto. 2. Landsat (satélites). 3. Temperatura de superfície. 4. Imagens termais.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

VITOR HUGO ARANDA FERREIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO MULTITEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em agosto de 2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão, de Sousa - Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof. Dr. João de Athaydes Silva Júnior – 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Prof. Dr. Raykleison Igor dos Reis Moraes – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira– 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.”

Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida da minha família, entes queridos, amigos pessoais e profissionais. À Universidade Federal Rural da Amazônia, por ter me proporcionado a oportunidade de desenvolver minhas atividades acadêmicas e me ajudar no desempenho da profissão das ciências florestais.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRA.

Ao meu orientador Dr Adriano Marlisom, pela paciência durante as orientações.

À Dr^a Nazaré Maciel e aos Orientados, Tais, e Rodolfo, pelo apoio e paciência despendida dando o rumo certo ao estudo.

À Tati, “doutoranda em Ciências Ambientais” que revirou todo seu conhecimento e esteve em infindáveis reuniões comigo sempre de bom humor, e esteve a meu lado nas duras lições que aprendemos, como ferramentas novas do ArcGis e seus scripts, além dos vírus e restaurações do Windows.

Sem esquecer de todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Região Metropolitana de Belém/PA.....	24
Figura 2: Estrutura metodológica.....	25
Figura 3: Temperatura de Superfície da RMB nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014.....	28
Figura 4: Gráfico da temperatura máxima e mínima de superfície por município da RMB.....	29
Figura 5: Comparação entre as médias de temperaturas georreferenciadas e observadas da RMB.....	30
Figura 6: Espacialização do NDVI, por RMB.....	31
Figura 7: Representação do NDVI em gráfico.....	32
Figura 8 - Mapa mostrando o traçado Perfil A-B-C com objetivo de registrar temperaturas de superfície com base nos materiais.....	34
Figura 9: Representação das temperaturas de superfície em relação aos pontos A-B-C.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Legislação, área, população, PIB - municípios RMB,	13
Tabela 2: Ranking IDH municípios	14
Tabela 3: Valores de Mínimo e Máximo, Desvio Padrão e Média do NDVI.	32

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE BELÉM	12
1.2.	REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (RMB)	12
1.3.	PROCESSO DE OCUPAÇÃO.....	12
1.3.1	ADENSAMENTO POPULACIONAL	14
1.3.2.	ECONOMIA	15
1.3.3.	NOVAS CONSTRUÇÕES URBANAS (RESIDENCIAL E COMERCIAL).....	16
1.4.	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.5.	OBJETIVO GERAL.....	19
1.6.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.7.	HIPÓTESE DA PESQUISA	20
2.	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1.	SENSORIAMENTO REMOTO	21
2.2.	NÚMEROS DIGITAIS, RADIÂNCIA E REFLECTÂNCIA.....	22
2.3.	CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	23
2.4.	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI).	23
2.5.	IMAGENS LANDSAT	24
3.	METODOLOGIA.....	26
3.1.	ÁREA DE ESTUDO	26
3.2.	MÉTODO.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	ANÁLISE DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.....	31
4.2.	ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	33
4.3.	PERFIL DO CAMPO TÉRMICO DE SUPERFÍCIE	36
5.	CONCLUSÃO	40
6.	REFERÊNCIAS	41
7.	APÊNDICES	45

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar e analisar os efeitos térmicos espaciais da região metropolitana da cidade de Belém, a partir de dados da plataforma Landsat 5 e 8 e dados meteorológicos de superfície, nos anos 1984, 1994, 2004 e 2014, bem como, a relação entre a variação do índice de vegetação e a temperatura de superfície. Para desenvolver esta pesquisa, foram usados como procedimento metodológico, valores de temperatura de superfície, obtidos através de imagens termais do sensor TM do Landsat 5 e OLI/TIRS do Landsat 8, respectivamente, e dados de temperatura do ar da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia de Belém (INMET/2º. DISME), bem como dados geocartográficos que serviram para a determinação do Índice de vegetação – NDVI. Os resultados foram satisfatórios quando comparados com outros estudos. A análise de temperatura de superfície segundo a espacialização das imagens resultou em uma variação significativa na temperatura, variando entre 18°C e 30°C, nos horários e dias de captação das imagens. Na comparação entre os valores médios da temperatura da superfície com os da temperatura do ar e médias climatológicas, foi possível perceber a variação da temperatura em graus Celsius durante os 30 anos, apontando valores máximos em torno de 28,16°C no ano de 2004, nas informações observadas pelo INMET, enquanto que a imagem amostral analisada registrou um valor de 26,65°C no mesmo ano, mantendo uma média no valor da climatologia de 25,77°C. Em relação ao NDVI, variaram entre -1 e +1, sendo estipuladas em cores, se mostrando adequado no que se refere ao aspecto visual dos índices, determinando uma média de 18,60%, para classe “sem cobertura vegetal”; uma variação entre os anos de 1984 e 2014, registrando um valor de 4,00% e 29,54%, respectivamente, para classe “Cobertura de Vegetação Média” e uma variação de 77,94%, no ano de 1984 e 52,00% no ano de 2014, e para a classe “Cobertura Vegetal Densa”. Em relação a modificação da cobertura vegetal, os resultados mostraram que os municípios sofreram variações significativas nos valores de temperatura, ocorridas por modificações de infraestrutura e aumento na ocupação do solo. O sensoriamento remoto tem proporcionado excelentes ferramentas nos estudos climáticos a partir do uso de imagens termais de satélites meteorológicos, além de fornecer subsídio para a gestão e planejamento ambiental.

Palavras Chaves: Temperatura de Superfície; Sensoriamento Remoto; Imagens Landsat e NDVI;

ABSTRACT

This study aimed to characterize and analyze the spatial thermal effects in the metropolitan area of the city of Belem, from Landsat 5 and 8 platform data and surface data in the years 1984, 1994, 2004 and 2014 and, the relationship between the variation in the vegetation index and surface temperature. To develop research, we used as methodological procedure, surface temperature values, obtained through thermal images of the TM sensor and OLI / TIRS the Landsat 5 and 8, respectively, and air temperature data from the weather station of the National Institute of Belem of Meteorology (INMET / second DISME.) and geocartographic data used for determining the vegetation Index - NDVI. The results were satisfactory compared to other studies. The surface temperature analysis according to the spatial distribution of the movie images resulted in a significant change in temperature, ranging from $\leq 18^{\circ}\text{C}$ to $\geq 30^{\circ}\text{C}$, at the times and days of taking pictures. Comparing the average surface temperature with the air temperature and average weather, we could perceive the change in temperature in $^{\circ}\text{C}$ for 30 years, pointing maximums around 28.16°C in the year 2004 the information observed by INMET, while the image recorded a value of $26,65^{\circ}\text{C}$ in the same year while maintaining an average worth of Climatology $25,77^{\circ}\text{C}$. Regarding the NDVI varied between -1 and +1 being laid in color, showed a good result in terms of the visual aspect ratios, determining an average of 18.6% for class "without vegetation" ; a variation between the years 1984 and 2014, registering a value of 4% and 29.54%, respectively, for class "Average vegetation coverage" and a variation of 77.94% in 1984 and 52% in the year 2014, and the "Dense Vegetation Cover" class. Regarding the soil profile, within the municipality of Belém, the results showed that this city has undergone variations in temperature values significantly as this occurred because the last 30 years, have undergone major changes, both in infrastructure, as increased land use. It can be concluded that remote sensing has provided the climate study from the use of thermal images of weather satellites to map surface temperature. Among the causes of the increase in surface temperature, removal of vegetation is one of the most relevant and can provide subsidy for environmental management and planning.

Keywords: Surface temperature; Remote Sensing; Landsat images and NDVI;

1. INTRODUÇÃO

1.1. BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE BELÉM

A cidade de Belém foi fundada por Francisco Caldeira Castelo Branco em 12 de janeiro de 1616, no lugar hoje chamado de Forte do Castelo. Com a construção da fortificação, iniciou a formação de um povoado denominado de Feliz Lusitânia. Ainda no século XVII, surgiram as primeiras ruas, iniciando a construção do bairro chamado de Cidade Velha. No século XVIII, a cidade avançou para a mata, distanciando-se do litoral. No século seguinte, houve uma contribuição para o desenvolvimento da capital paraense, por meio da abertura dos rios Amazonas, Tocantins, Tapajós, Madeira e Negro para a navegação dos navios mercantes de todas as nações. No início do século XX, ocorreu um grande desenvolvimento em Belém, porém com a crise do ciclo da borracha aliada a 1ª Guerra Mundial, motivaram a queda desse processo (IBGE, 2014 e Prefeitura de Belém 2015).

Recomendamos a leitura do livro *Belém: Transformações na ordem urbana* (Lima e Cardoso 2015) publicado pelo observatório das metrópoles que é um apanhado moderno e completo sobre o desenvolvimento da região metropolitana de Belém no contexto político e histórico, para aprofundamento em demais contextos, que, no entanto, fogem ao objetivo geral deste trabalho.

1.2. REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (RMB)

A Região Metropolitana de Belém (RMB), criada pela Lei Complementar Federal em 1973, era constituída apenas pelos municípios de Belém e Ananindeua. Porém, a região sofreu alterações por Leis Complementares Estaduais (LCE 027/1995) acrescentando os municípios de Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará; enquanto a (LCE 072/2010) adicionou Santa Isabel do Pará. E finalmente a (LCE 076/2011) promoveu a inserção de Castanhal. Neste sentido, a configuração atual da RMB é composta pelos municípios de: Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal.

1.3. PROCESSO DE OCUPAÇÃO

O Estado do Pará possui uma diversidade de povos que estão presentes desde o início da sua formação, recebendo um elevado número de imigrantes portugueses, espanhóis, italianos,

japoneses, africanos e indígenas, enquanto que nos últimos séculos houve a chegada de libaneses e franceses (O Pará, 2010).

De acordo com os dados do IBGE, 2014, a população do estado do Pará é estimada em cerca de 8.073.924 habitantes. Na Tabela 01, encontram-se as informações da região metropolitana de Belém/PA, como sua área, população e o PIB.

Tabela 1: Legislação, Área, Estimativa de população, Produto Interno Bruto (PIB) - Municípios da Região Metropolitana de Belém (Adaptado IBGE 2014).

Município	Legislação	Área (km²)	PIB em milhões R\$ (2011)	População Estimada (2014)
Ananindeua	LCF 14/1973	185,05	3.906.459	499.776
Belém	LCF 14/1973	1.065,00	19.666.725	1.432.844
Benevides	LCE 027/1995	187,86	621.830	57.393
Marituba	LCE 027/1995	103,27	730.339	120.305
Santa Bárbara do Pará	LCE 027/1995	278,15	75.161	19.197
Santa Isabel do Pará	LCE 072/2010	717,61	376.581	65.251
Castanhal	LCE 076/2011	1.029,19	1.618.187	186.895
Total RMB 30% PARÁ		3.566,13	26.995.282	2.381.661

Houve uma intensificação no crescimento populacional da Região Metropolitana de Belém nas últimas décadas, o que justifica o surgimento de uma nova distribuição populacional vista nos dias de hoje (Carmo et al., 2014).

Desde o final do século XIX, é possível identificar quatro grandes processos que deram sentido à ocupação territorial da Amazônia. Sendo o primeiro é marcado pela influência internacional, entretendo a região se inseriu no mercado internacional por meio da produção e exportação da borracha; já no segundo houveram intervenções do governo federal, no momento em que a região passou por certa indefinição econômica; o terceiro já é quando o Estado

Nacional escolhe a região para ser o grande palco de suas ações de planejamento territorial e, finalmente, o quarto é caracterizado pela conjugação de ações estatais, embora em menor escala que no período anterior, e pelo avanço dos agentes impulsionados pelas forças de mercado internas e também externas (Prates e Bacha, 2011).

1.3.1 ADENSAMENTO POPULACIONAL

A Região Metropolitana de Belém é habitada por aproximadamente mais de 2,4 milhões de habitantes. Dos sete municípios que integram a RMB apenas Belém, Ananindeua, Castanhal e Marituba são considerados os mais populosos do Pará (IBGE, 2014).

A RM de Belém apresenta-se como a RM brasileira com o maior índice de domicílios situados em aglomerados subnormais¹ (IBGE, 2010). O alto nível de incidência de baixadas, ocupações irregulares e correlatos se relaciona intimamente com a precariedade de infraestrutura e saneamento (Pinheiro; Ponte; Rodrigues, 2002).

Nota¹. Conceito de Aglomerado Subnormal: 1987/2006: IBGE áreas conhecidas ao longo do país por diversos nomes, como favela, comunidade, vila, mocambo, entre outros dispostas de forma desordenada.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) diz que o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um índice que serve de comparação entre os países e cidades, com objetivo de medir o grau de desenvolvimento econômico e a qualidade de vida oferecida à população. Varia de 0 a 1 também é usado para apurar o desenvolvimento de cidades, estados e regiões. No cálculo do IDH são computados os seguintes fatores: educação (anos médios de estudos), longevidade (expectativa de vida da população) e Produto Interno Bruto per capita. De acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras de 2014, a RM de Belém em 2000, apresentava o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) “igual a 0,621, situando-se na faixa de Médio Desenvolvimento Humano. Já em 2010, a RMB apresentava IDHM de 0,729, passando para a faixa de “Alto Desenvolvimento Humano” pelo que podemos observar na tabela a seguir.

Tabela 2: Ranking IDHM - fonte: adaptado atlas Brasil.

RANKING RMB IDHM					
Posição	Local	IDHM	IDHM Renda	IDHM Longevidade	IDHM Educação
218°	RMB	0,729	0,722	0,817	0,656
628 °	Belém	0,746	0,751	0,822	0,673
1362 °	Ananindeua	0,718	0,684	0,821	0,658
2524 °	Marituba	0,676	0,621	0,793	0,628
2598 °	Castanhal	0,673	0,654	0,800	0,582
2776 °	Benevides	0,665	0,623	0,798	0,592
2924 °	Santa Isabel do Pará	0,659	0,622	0,798	0,576
3534 °	Santa Bárbara do Pará	0,627	0,575	0,784	0,546

Nota². Colocação da região em relação a demais regiões metropolitanas no Brasil;

1.3.2. ECONOMIA

Segundo (AMARAL FILHO 2001), o crescimento e o desenvolvimento econômico de uma sociedade estão cada vez mais relacionados ao desempenho do produto e da renda, dos níveis de educação e saúde de uma cidade, assim, é fundamental entender e distinguir o que é desenvolvimento econômico e como impacta o bem-estar social.

A economia belenense baseia-se principalmente nas atividades do comércio e serviços, embora seja também desenvolvida a atividade industrial, com indústrias alimentícias, navais, metalúrgicas, pesqueiras, químicas e madeireiras. Belém localiza-se na região mais dinâmica

do Pará e juntamente com o município de Barcarena, integra o segundo maior parque industrial da Amazônia. A cidade conta com os portos brasileiros mais próximos da Europa e dos Estados Unidos (Belém, Miramar e Outeiro). Atualmente, Belém aguarda um novo ciclo de desenvolvimento devido à revitalização dos distritos industriais de Icoaraci e Ananindeua, com a implantação da Hidrovia do Tocantins e com a chegada da Ferrovia Norte-Sul.

A capital Belém é reconhecida pela maior manifestação da religião católica do Brasil e uma das maiores do mundo, o Círio de Nazaré ocorre anualmente no início de outubro e movimentada a economia aquecendo a produção industrial, o comércio, setor de serviços e o turismo (belem.pa.gov, 2015).

1.3.3. NOVAS CONSTRUÇÕES URBANAS (RESIDENCIAL E COMERCIAL).

Em função da crescente economia do Estado do Pará, nas áreas da agricultura, comércio e mineração, a cidade de Belém atraiu um elevado número de imigrantes, gerando investimentos em transportes, educação, saúde e infraestrutura como os shoppings, indústrias, portos e terminais de carga.

Segundo Garvão e Correa (2015),

[...] a grande Belém se tornou uma cidade em processo de mudanças em sua paisagem de forma gradativa, trazendo um contexto de verticalização intensa nos últimos anos³. As distâncias diminuíram e cada vez mais pessoas passaram a habitar nas cidades circunvizinhanças de Belém. Atualmente a capital paraense passa por um processo de valorização do espaço, em virtude de uma “agressiva” urbanização da cidade, principalmente pela intensa especulação imobiliária, o que faz a cidade enfrentar dias de estrangulamento espacial.

Nota³. Aumento no número de prédios na região;

Neste sentido, a malha urbana de Belém é alvo de “disputas” por empresas de construção civil, objetivando o investimento em novos conceitos de moradia para a população.

As construções imobiliárias de alto padrão “empurram” o morador local para fora desta área de investimento, pois os antigos proprietários, dentre eles muitos herdeiros, acabam vendendo suas propriedades e saem para localidades de menor especulação imobiliária. Observa-se assim como é atingida a vida cotidiana dos que habitam o local, e como esse processo de intervenção e transformação espacial não ocorre sem consciência espacial dos moradores locais (Ibidem).

Tal mudança gera como consequência um aumento, em ritmo acelerado, das periferias no cenário da região metropolitana de Belém.

Sabe-se que a maioria da população mundial irá residir em cidades dentro de alguns poucos anos e a velocidade de urbanização continuará acelerada mundialmente nas próximas décadas. Projeta-se que o número de megacidades aumentará, embora o maior crescimento populacional deverá ocorrer naquelas cidades com um milhão ou menos de habitantes [...] (Vlahov, 2015). E é dentro deste contexto que se encontra a cidade de Belém e os demais municípios da sua região metropolitana.

Como construção coletiva e permanente, a cidade é a materialização de relações econômicas, das ações políticas e dos valores sociais que, a todo o momento, configuram a paisagem. Fotografias em preto e branco de outros tempos são prova do quanto os desenhos que compunham o espaço urbano acompanhavam os valores e as dinâmicas de sua geração (Lucca; Pimenta, 2015).

A urbanização, caracterizada pela substituição do ecossistema natural por estruturas artificiais, é um processo contínuo na sociedade moderna. Quase nunca o processo ocorre com planejamento, e sempre surgem impactos nas mais diversas esferas: biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera. Os impactos produzidos nesta última esfera ocorrem na maioria das vezes pela substituição das áreas verdes por casas e prédios, ruas e avenidas e uma série de outras construções, que é maior à medida que se aproxima do centro das grandes cidades (Lombardo, 1985).

Além desses aspectos, as áreas de maior adensamento da cidade registram uma maior concentração de gases e materiais particulados, lançados principalmente pelos automóveis, indústrias e demais fontes poluentes, proporcionando um aumento da temperatura da superfície (Jauregui, 1997). Desta forma, estas características colaboram para a formação de ilhas de calor urbanas, e em um período longo de alterações das propriedades físicas e químicas da atmosfera se pode observar alterações no clima.

Ainda de acordo com Lombardo (1985); Mendonça e Danni-Oliveria, 2007, nos núcleos de grande edificação e acumulação de calor são produzidas ilhas de calor que em clima tropical pode ser persistente, devido ser um local de grande insolação, causando *desconforto térmico* que ultrapassa os limites de tolerância dos habitantes. Para García, conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de autorregulação são mínimos, ou ainda na zona

delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas manifestem-se sentir bem (García, 1985:199).

Nesse sentido, a ilha de calor urbana não é característica exclusiva das metrópoles, este problema ambiental existe em qualquer núcleo urbano, o qual é consequência de um planejamento urbano deficiente ou inexistente, que se desenvolve a partir de pressupostos que poderiam ser mitigados com ações tomadas previamente ao assentamento da população (Teza; Baptista, 2005).

Entretanto, somados a estes efeitos do clima, o alerta do aumento da frequência dos eventos climáticos extremos provocados pela intensificação do aquecimento global, divulgado pelo IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Marengo, 2006), fortalece um maior desenvolvimento de estudos superfície-atmosfera que possam revelar a interferência do clima no ambiente urbano, com condições de diferentes superfícies.

Diante do exposto, esperamos que os resultados desta pesquisa, usando informações de imagens de satélite combinado com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), possam prover um bom entendimento sobre a caracterização dos efeitos térmicos espaciais na região Metropolitana de Belém/PA.

1.4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Mudanças na temperatura de superfície acabam repercutindo em perturbações no conforto térmico, a falta de sombra, diminuição da área verde aliadas ao aumento da poluição do ar, geram sérios efeitos sobre a saúde da população. É observado também um aumento do consumo de energia elétrica pela necessidade do uso de condicionadores de ar durante grandes períodos de tempo.

Entender os efeitos dessa mudança de utilização da cobertura do solo, bem como a escassez de estudos de longo prazo em relação à temperatura de superfície e índice de vegetação relacionados, justificou o início deste trabalho com foco na região metropolitana de Belém/PA. Até porque na maioria das grandes cidades e metrópoles, as intervenções efetivas temperatura de superfície ainda são inexistentes, e os impactos negativos do fenômeno ilha de calor urbana afetam muitas pessoas de diferentes formas, tendo em vista que mais de 68% da população Paraense vive em áreas urbanas (IBGE, 2010).

Contudo, se considera a relevância deste, em permitir uma análise de como as mudanças

no uso solo através da mudança da cobertura vegetal podem alterar os valores de temperatura de superfície nos períodos avaliados. Tais manifestações evidenciam a necessidade de estudos climáticos urbanos, assegurando discussões cada vez mais profundas e satisfatórias sobre essa temática, buscando elaborar medidas mitigadoras para essas problemáticas.

Nesse sentido, a caracterização da temperatura de superfície, a partir de imagens de satélites possibilita espacialização as áreas mais afetadas, sendo capaz de comparar o NDVI com as temperaturas, compreendendo os processos básicos dos efeitos.

Desta forma, precisamos responder a seguinte pergunta: “É possível caracterizar a temperatura de superfície a partir de imagens de satélites? ”.

1.5. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é caracterizar e analisar os efeitos térmicos espaciais da região metropolitana da cidade de Belém, a partir de dados da plataforma Landsat 5 e 8 e dados meteorológicos de superfície.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o das imagens de um dia dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014, da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém/PA;
- Espacializar e validar as imagens de temperatura da superfície (isotermas) com dados da temperatura do ar obtidos no INMET;
- Gerar as isotermas do município de Belém (área prioritária escolhida);
- Verificar a variação espacial da temperatura na superfície (gradiente térmico) em diferentes paisagens (ausência de vegetação, vegetação moderada e vegetação densa) dentro do espaço urbano, utilizando imagens de satélite;
- Gerar mapas e gráficos da curva de temperaturas dos municípios da RMB, ao longo dos dias escolhidos de cada ano.

1.7. HIPÓTESE DA PESQUISA

- É possível aferir a temperatura de superfície com imagens termais da plataforma Landsat 5 e 8 para a região metropolitana de Belém – RMB?
- No caso da primeira hipótese ser verdadeira, é possível afirmar a a redução da cobertura vegetal, ao longo dos anos aumentou a temperatura da superfície da região Metropolitana de Belém/Pa?

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto está intimamente ligado à medida da radiação eletromagnética refletida ou emitida dos alvos da superfície terrestre, bem como ao tratamento à disponibilização dessa informação numa forma passível de ser interpretada. Neste sentido podemos pensar em qualquer fonte de energia, desde que essa energia possa ser medida e transformada num produto interpretável. A energia que chega à superfície do planeta interage com todos os objetos (em grande parte da literatura denominado alvo), inclusive com a camada superficial da terra, genericamente denominada de solo. Dessa interação, a energia pode ser fracionada em até três partes: absorvida, refletida e transmitida. O número de fracionamento depende das propriedades físico-químicas e biológicas de cada objeto (Moreira, 2011).

Desde a década de 1960, o Brasil desenvolve pesquisas no campo da ciência e tecnologia espacial, o que justifica a sua participação no seleto grupo de países que dominam essa tecnologia. O programa CBERS (China-Brasil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é o resultado da cooperação técnica entre Brasil e China para a construção de satélites de sensoriamento remoto e recursos terrestres. A finalidade dos satélites brasileiros de sensoriamento remoto (SSR) é o monitoramento ambiental da região amazônica. Desmatamento, queimadas, enchentes, agricultura, mineração etc, são fenômenos que poderão ser monitorados com as imagens do SSR (Florezano, 2007).

Neste contexto, segundo Barbosa e Vecchia (2009), o sensoriamento remoto mostra grande destaque nas pesquisas de cunho ambiental, sendo que os estudos de clima urbano têm se desenvolvido nas últimas décadas, com ênfase na análise de anomalias térmicas. Conforme Paiva (2005), a geração de parâmetros físicos da superfície terrestre a partir de um montante quase contínuo de informações com alta resolução temporal e espacial, juntamente com a possibilidade de obtenção de subsídios detalhados para regiões de grandes dimensões em um tempo razoavelmente curto, são as principais vantagens associadas à aquisição de dados por intermédio do sensoriamento remoto orbital. Desta maneira, Lazarim e Zullo Junior (2011) afirmam que os dados vindos destas fontes se configuram como uma opção no sentido de ampliar a densidade, confiabilidade e agilidade de definição de informações de temperatura da superfície terrestre em escalas regionais

2.2. NÚMEROS DIGITAIS, RADIÂNCIA E REFLECTÂNCIA

As imagens digitais, produzidas pelos sensores remotos, são normalmente armazenadas como uma matriz de números, gerados após a interação da radiação eletromagnética com o alvo. Cada pixel na linha (i) e na coluna (j) da matriz tem um valor de brilho ou valor de intensidade a ele associado, denominado de número digital (ND). Quanto maior a variação possível dos valores de brilho, mais precisas serão as medidas de quantidade de radiação detectada pelo sensor (Jensen, 2009).

A radiação solar, refletida por um elemento qualquer situado na superfície da Terra é convertida em valores digitais, que são atribuídos a cada pixel que compõe a imagem original da cena, representando a radiação média refletida ou emitida pelos elementos existentes na área definida pelo pixel. Estes números, são conhecidos como números digitais (NDs).

Conhecendo-se algumas características do sensor, pelo qual a imagem foi gerada, bem como as condições ambientais no momento da sua aquisição, é possível efetuar a conversão dos números digitais para valores físicos. Mesmo considerando-se imagens de um mesmo sensor tomadas em diferentes épocas, esta conversão é necessária e possibilita uma comparação mais efetiva destes valores físicos, uma vez que os parâmetros de calibração são modificados ao longo da vida do sensor. Obviamente, o mesmo raciocínio deve ser aplicado aos elementos extraídos de imagens em bandas espectrais similares, porém, de diferentes sensores, uma vez que estes apresentam diferentes sensibilidades à radiação. Também, com os números digitais convertidos em refletância aparente, é possível realizar operações aritméticas utilizando imagens de diferentes bandas espectrais de um mesmo sensor ou mesmo de sensores distintos, uma vez que novos valores digitais passam a representar um parâmetro físico apresentado em uma mesma escala (Ponzoni; Shimabukuro, 2007; Chuvieco; Huete, 2010).

Quando se buscam elementos diversos sobre a vegetação, com base em dados do sensoriamento remoto, é fundamental conhecer a interação da radiação solar com a vegetação.

Por outro lado, outros elementos relacionados ao instante da aquisição da imagem, como, por exemplo, o ângulo de elevação e o azimute do Sol, ângulo de visada do sensor e a distância Terra-Sol, podem proporcionar variações na radiância da superfície e, conseqüentemente, na sua refletância.

Na presente pesquisa, interessa os valores de refletância, uma vez que se irá trabalhar com índices de vegetação (IVs), que são amplamente utilizados como indicadores da existência e das condições da vegetação e, conseqüentemente, em estimativas de biomassa. Como os índices mais utilizados são originados por razões de refletância, torna-se, então, necessária a

obtenção dos valores de reflectância (ρ), em função dos números digitais (ND).

2.3. CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Segundo Crosta (1999), imagens de sensoriamento remoto, sejam fotografias aéreas ou imagens de satélite, estão sujeitas a uma série de distorções espaciais e não possuem precisão cartográfica em relação ao posicionamento de objetos, à superfície ou aos fenômenos representados nas mesmas, não podendo, assim, serem consideradas como mapas.

Desta forma, quando o trabalho envolve a utilização de imagens representativas de regiões com relevo acidentado (grandes variações de altitude com inclinações acentuadas), acarretará distorções nas posições dos pixels nas imagens brutas, a ortorretificação é um processo fundamental na correção destas.

2.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI).

Este índice foi proposto por Rouse et al. (1973) para separar a vegetação verde de solo exposto, utilizando imagens do Landsat MSS. A base deste índice é o contraste entre a máxima absorção na região do vermelho, em virtude dos pigmentos da clorofila e na máxima reflexão no infravermelho próximo, ocasionada pela estrutura celular das folhas. Segundo Häme et al. (1997) e Haboudane et al. (2004), é o índice mais conhecido e amplamente utilizado em pesquisas relacionadas com o monitoramento e mapeamento da cobertura vegetal.

O NDVI é um índice que normaliza os efeitos da topografia, sendo sensível à radiação fotossinteticamente ativa, constituindo uma técnica simples e confiável de mensurar o vigor da vegetação (Thenkabail et al., 2004).

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do infravermelho próximo e a do vermelho. Esta diferença é normalizada pela soma das reflectâncias nestas mesmas faixas.

De acordo com Chuvieco e Huete (2010), os índices de vegetação (IVs) são utilizados para extrair informações relacionadas à vegetação, com base nos pixels de uma imagem digital. Estes índices envolvem transformações espectrais entre duas ou mais bandas do espectro eletromagnético, sendo uma delas a região do vermelho (0,6 a 0,7 μm), onde a vegetação verde e sadia apresenta alta absorção (baixa reflectância) da radiação solar pela clorofila, e outra na região do infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μm), onde ocorre pouquíssima absorção (alta reflectância). A combinação destas duas bandas tem o objetivo de enfatizar o sinal da vegetação

e, ao mesmo tempo, minimizar as influências da ausência de vegetação.

Vários índices de vegetação têm sido desenvolvidos com o objetivo de entender as variáveis da vegetação. Diversos estudos têm mostrado que estes índices estão correlacionados às várias propriedades da vegetação, como o índice de área foliar, a biomassa, o conteúdo de água, a fenologia e o vigor da vegetação. Com isto, eles têm sido considerados uma técnica robusta no sensoriamento remoto, produzindo consistentes comparações espaciais e temporais da vegetação verde, tanto em escala local quando global (Myneni et al., 1995b; Chuvieco; Huete, 2010; Ahamed et al, 2011).

Segundo Liu (2007), o NDVI pode ser um bom indicador do crescimento da vegetação e da estimativa de biomassa; entretanto, interferências na radiação durante a passagem pela atmosfera (principalmente, a reflectância diferenciada entre a radiação visível e o infravermelho próximo no topo das nuvens) afetam o valor absoluto deste índice, podendo, assim, comprometer a interpretação dos resultados.

2.5. IMAGENS LANDSAT

Iniciada no final da década de 1960, a partir de um projeto da Agência Espacial Americana, a série Landsat foi dedicada exclusivamente à observação dos recursos naturais. O Landsat-5 lançado em 1984 levando a bordo os sensores MSS e TM produziram o arquivo de dados mais utilizado em aplicações de média escala, mas está com suas atividades interrompidas desde março de 2006 devido problemas técnicos. Já o Landsat-7 lançado em 1999, teve suas atividades interrompidas em maio de 2003, e atualmente não está operante. A inovação vinculada ao Landsat-7 foi o instrument ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos da série, por que manteve a alta resolução espacial da banda 6 (infravermelho thermal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração da composição coloridas com 15 metros de resolução.

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosíncrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7. A sua passagem na linha do equador ocorre às 10:00 horas, com diferença de 15 minutos para mais ou para menos (USGS, 2013).

A cobertura das imagens desse satélite é de praticamente todo o globo, com exceção para as mais altas latitudes polares, ocorrendo a revista a cada 16 dias. Ou seja, uma resolução temporal de 16 dias. O tamanho aproximado da cena é de 170 km ao norte-sul por 183 km a

leste-oeste.

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, sendo o primeiro, Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, apresentando as seguintes características:

- Banda 1 - Visível Ultra-Azul (0,43 – 0,45 μm) 30 m - ideal para estudos costeiros e aerossol.
- Banda 2 - Visível Azul (0,450 – 0,51 μm) 30 m
- Banda 3 - Visível Verde (0,53 – 0,59 μm) 30 m
- Banda 4 - Visível Vermelho (0,64 – 0,67 μm) 30 m
- Banda 5 - Infravermelho Próximo (0,85 – 0,88 μm) 30 m
- Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1 (1,57 – 1,65 μm) 30 m
- Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2 (2,11 – 2,29 μm) 30 m
- Banda 8 - Pancromática (PAN) (0,50 – 0,68 μm) 15 m
- Banda 9 - Cirrus (1,36 – 1,38 μm) 30 m – útil para detecção de nuvens

O outro sistema imageador é o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013)

Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 (10,6 – 11,19 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros e Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2 (11,5 – 12,51 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.

As características dos produtos/imagens são consistentes com o padrão de Nível 1 (ortorretificadas) semelhantes aos da série Landsat 1 ao 7. O formato dos dados disponibilizados - de forma gratuita, baixado via internet - é um TXT (metadados) e GeoTIFFs. A resolução radiométrica é de 16 Bits, Datum WGS 1984, projeção UTM (polar estereográfica para a Antártida), sendo necessário reprojeta-las para sul.

As imagens landsat ainda são muito utilizadas em aplicações ambientais, também por conta do imenso arquivo histórico de mais de trinta anos, e subsidiam a elaboração de projetos de acompanhamentos do uso e cobertura do solo, apoio a monitoramentos de áreas, entre outros.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido, na região Metropolitana de Belém/PA, a qual atualmente, é composta por sete municípios (Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal (figura 1).



Figura 1: Região Metropolitana de Belém/PA. FONTE: Autor 2015.

A RMB cobre uma extensão territorial de 3.565,8 km², com população, segundo o Universo do Censo Demográfico 2010 do IBGE, de 2,275 milhões de habitantes, com uma densidade demográfica bruta de cerca de 640 habitantes por km². O PIB per capita da RMB, de R\$ 10.866,71 para o ano de 2010, é baixo, em comparação com outras regiões metropolitanas brasileiras; 61% menor do que o PIB per capita da Região Metropolitana de Porto Alegre-RS e 17% menor do que o PIB per capita da Região Metropolitana de Goiânia-GO, por exemplo. A RMB, ainda, é a Região Metropolitana brasileira com a maior incidência de domicílios situados em locais precários, nos chamados aglomerados subnormais (IBGE, 2010), áreas favelizadas das metrópoles e de cidades médias e pequenas brasileiras. Em um contexto de pobreza e deficiência de infraestrutura, a administração pública apresenta frágeis definições quanto à questão metropolitana (IPEA, 2013).

Quanto ao uso do solo, é possível observar que há uma concentração de investimentos públicos (PAC, BRT, MCMV) e privados nos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba (incorporação imobiliária, grandes equipamentos urbanos como shopping centers etc) capazes de produzir importante impacto no uso do solo, tais como: ampliação da mancha urbanizada, ampliação da rede de infraestrutura urbana, adensamento dos principais eixos viários em Belém e de conexão metropolitana, comprometimento de áreas ambientalmente frágeis na ausência de zoneamentos mais específicos e de fiscalização, incluindo, por exemplo, a destinação de áreas para tratamento de aterros sanitários e tratamento de resíduos sólidos. (IPEA, 2013).

O sítio físico da RMB é caracterizado por porções continentais e insulares. Possui um relevo pouco acidentado, é uniforme com poucas variações, plano, pouco ondulado. O ecossistema amazônico original é dotado da floresta tropical úmida, embora alterada em função do desmatamento acelerado nos sete municípios, onde ainda existe uma fauna importante para preservação (IDESP, 2015).

3.2. MÉTODO

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas (figura 2):



Figura 2: Estrutura metodológica nos dias escolhidos para cada ano. FONTE: Autor 2015

1ª Etapa: Preparação dos Dados

Nesta etapa, foi feito o levantamento bibliográfico e documental referente ao processo histórico de ocupação da região Metropolitana de Belém, bem como as condições climáticas, juntamente com a compilação de dados e imagens de satélites, perante aos órgãos como: IBGE, INMET, INPE, entre outros. A escolha por esta Região como área de estudo, se deu devido à escassez de estudos, sobre a temática da temperatura de superfície relacionado ao índice de vegetação, assim como, pelo seu valor social sendo importante para a sociedade amazônica.

2ª Etapa: Organização e Análise dos Dados

- Temperatura de Superfície

A caracterização da temperatura de superfície, neste trabalho, foi realizada através de imagens LANDSAT 5 E 8, Órbita 223, ponto 61, com data de passagem 27/07/1984; 21/06/1994; 15/05/2004 e 16/03/2014, respectivamente, horário central 12:30h, canais/bandas 1, 2, 3 e 6 para o Landast-5 e para o Landsat-8: 11, correspondendo o ultimo ao infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5 μm - micrômetro) com resolução espacial de 120 x 120m, dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014, obtidos do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual é de domínio público e de fonte aberta via disponível na rede mundial de computadores.

Essas imagens foram processadas no software ArcGis 10.1, o qual é de propriedade particular, fornecido pela Universidade Federal Rural da Amazônia. Em seguida, as imagens foram espacializadas para o processo de tratamento digital para a diminuição da concentração de nuvens, e posteriormente foi reprojeta para a projeção WSG_84_UTM, zona 23 sul.

Para a caracterização da temperatura de superfície, foram usadas as bandas termiais: Banda 6 para o LANDSAT-5 e a Banda 11 para o LANDSAT-8, essas bandas foram calibradas através da utilização de parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin (K) e finalmente para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) conforme metodologia discutida por Chander et al. (2009) expressa nas Equação, inserida na ferramenta *calculadora raster* do SIG ArcGIS.

$$TC = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Fórmula inserida na ferramenta *calculadora raster*:

$$TC = (K2 / \ln (K1 / (a * \text{Imagem} + b) + 1)) - 273.15$$

Onde:

TC = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K2 = Constante de calibração = 1.260,56

K1 = Constante de calibração = 607,76

L = Radiância espectral em Watts / (metros quadrados).

a= Fator multiplicativo de redimensionamento específico por banda = 1.18 para o landsat-5 e 1 para o Landsat-8.

b= Fator de redimensionamento aditivo específico por banda = 0.055376, landsat-5 e 3.3420E-04 Landsat-8

➤ Temperatura do Ar

Os dados de temperatura do ar observados máxima e mínima (Tmax e Tmin) foram obtidos da Estação meteorológica monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Belém/PA (1°24'40.42"S e 48°26'22.24"O), para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2014.

➤ Índice de Vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

O índice de vegetação utilizado no presente trabalho foi o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis a razão entre a diferença das bandas do vermelho e infravermelho próximo pela soma das mesmas, como se segue:

$$\text{NDVI: } (IVP - V) / (IVP + V)$$

Onde:

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo;

V: valor de reflectância da banda no vermelho.

O índice também foi obtido pelo programa ArcGis 10.1, através das etapas “índice de vegetação”, “NDVI”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

O georreferenciamento das imagens de satélites, espacializadas pelo software, gerou uma análise multitemporal da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém, no período de 30 anos para dias dos respectivos anos de (1984, 1994, 2004 e 2014). Em que foi perceptível uma variação significativa na temperatura durante esses anos, uma vez que esta temperatura variou entre 18°C a 30°C, nos horários e dias de captação das imagens, 27/07/1984; 21/06/1994; 15/05/2004 e 15/03/2014 (Figura 3).

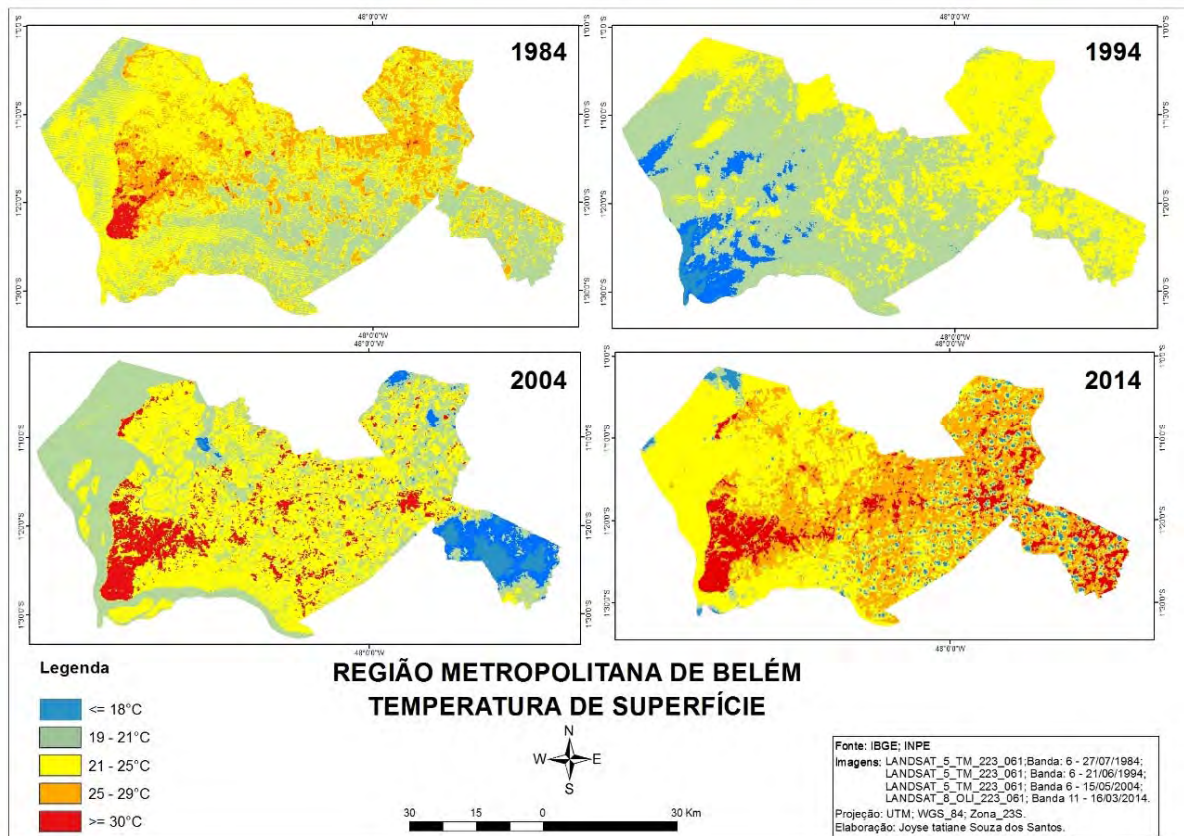


Figura 3: Temperatura de Superfície da RMB os dias 27/07/1984, 21/06/1994, 15/05/2004 e 15/03/2014 FONTE: Autor 2015.

Esta variação de temperatura de superfície elevada, diante da diferença entre os anos, está relacionada diretamente à resposta da radiação dos materiais e dos diversos usos que são realizados no território, a exemplo do município de Belém que houve grandes modificações desde a retirada da vegetação para criação de ruas para a viabilização do transporte, assim como o aterramento de parte do rio Guamá para construção de um espaço de lazer, registrando

valores máximos e mínimos. Como é possível verificar na figura 4, que valores de temperatura do município de Belém no ano de 1994 a máxima registrou 26,23°C, enquanto que 2004 foi de 30,81°C e em 2014 o valor registrado foi de 32,01°C, aumentando gradativamente. Já municípios como Santa Isabel do Pará, sua temperatura oscilou bastante, em que 1994 registrou um valor de 24,01°C, depois houve um aumento de 28,75°C em 2004 e em 2014 diminuiu para 24,14°C, essa oscilação apresentada nos leva a crer fruto do município não ter recebido grandes obras no decorrer destes anos.

Vale ressaltar que o ano de 1984, por ser uma imagem antiga, o software superestimou os valores de temperatura, quando analisado por município registrando uma máxima de 54°C e uma mínima de 19,26°C no município de Belém, saindo dos padrões de temperatura da região.

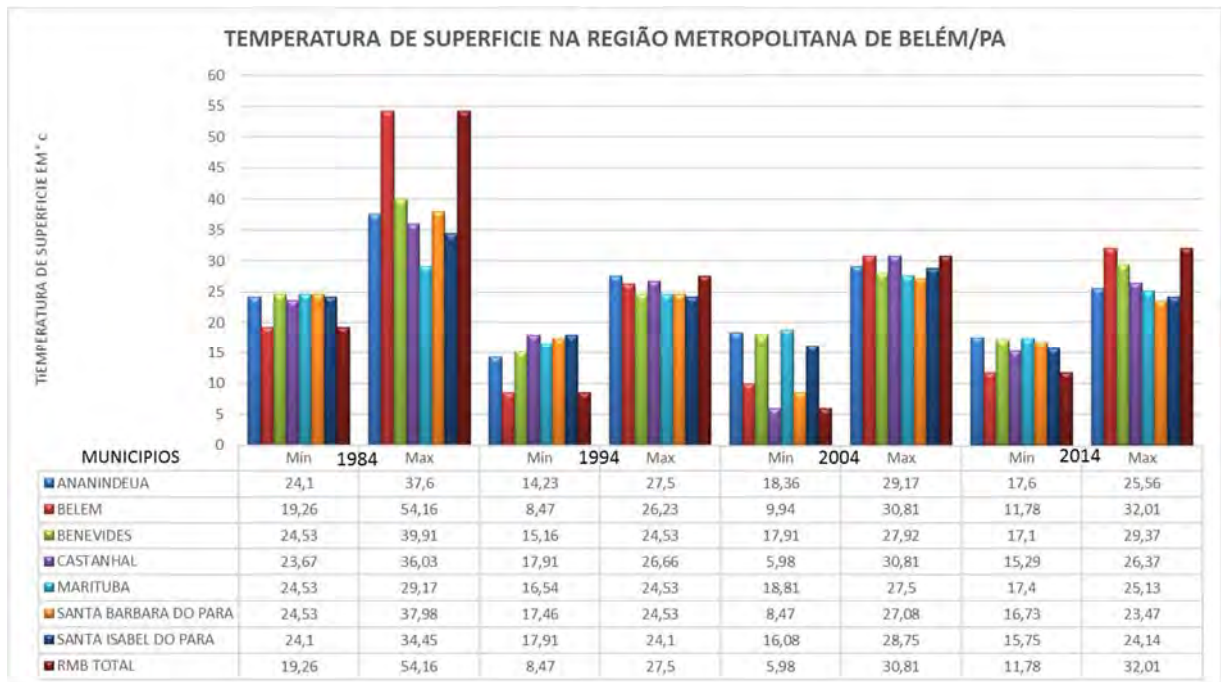


Figura 4: Gráfico da temperatura máxima e mínima de superfície por município da RMB.
FONTE: Autor.

Na comparação entre os valores médios de temperatura de superfície com os de temperatura do ar, obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e médias de climatologia 61-90, foi possível perceber a variação de temperatura em °C durante os 30 anos, apontando valores máximos em torno de 28,16°C no ano de 2004, nas informações observadas pelo INMET, enquanto que a imagem registrou um valor de 26,65°C no mesmo ano, mantendo um média no valor da climatologia de 25,77°C (figura 5).

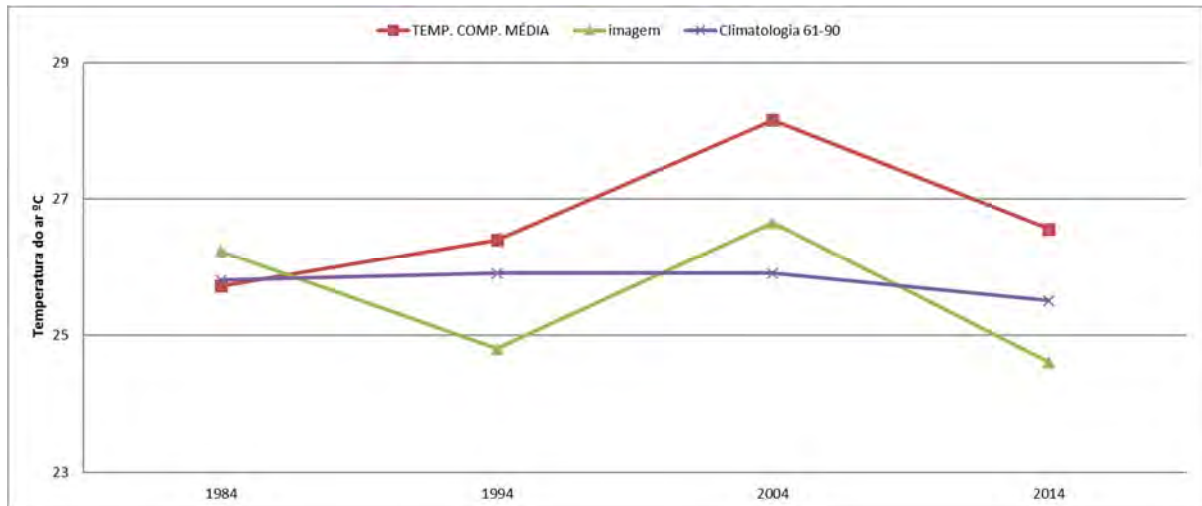


Figura 5: Comparação entre as médias de temperaturas georreferenciadas e observadas da RMB. FONTE: Autor 2015.

Em comparação entre os resultados encontrados para RMB, GALVÍNIO et al 2009 encontrou valores próximos em seu trabalho na Paraíba. Assim como esses valores são corroborados por (Pinheiro et al 2006), para seu estudo realizado na África do Sul.

4.2. ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação, referentes ao NDVI, apresentam-se como razões entre reflectâncias referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo; o que eles registram servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação, podendo ser associados a vários parâmetros biofísicos da vegetação.

Na Figura 6 podem ser observados os resultados obtidos com a aplicação da equação do NDVI para a Região Metropolitana de Belém, durante o período de estudo, 1984, 1994, 2004 e 2014. Nota-se um bom resultado no que se refere ao aspecto visual dos índices, ou seja, mesmo sem efetuar uma análise mais elaborada, utilizando para tal ferramentas do ArcGis, foi possível visualizar as mudanças ocorridas no estado fenológico da vegetação.

Os níveis de cinza da imagem original foram relacionados a valores de NDVI que variam entre -1 e +1 que são os valores máximos e mínimos possíveis na escala onde o valor próximo ao valor -1 que corresponde a ausência absoluta de vegetação de forma crescente até o valor +1 onde o valor de vegetação é máximo, e a estes, através do fatiamento (técnica de georeferenciamento – onde são definidas novas classes para os valores observados), foram estipuladas novas definições de cores. Assim, os tons de verde mais escuro estão relacionados

aos valores mais elevados de NDVI (classificados de Vegetação Densa) e, conseqüentemente, maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa. À medida que o tom de verde vai clareando, transformando-se em verde mais claro (classificado de Cobertura da Vegetação Média) e azul (classificado de Sem Cobertura), significa que os valores de NDVI estão diminuindo.

Essas classes nomeadas de -1 a 0, classificadas de “sem cobertura vegetal” estão representadas pela cor azul, é perceptível que durante dias dos anos estudados manteve-se em uma média de 18,6%, ou seja, não houve variação, em que percebemos que são áreas alagadas e rios. Já a classe intermediária nomeada de 0 – 0,4, classificada de “Cobertura de Vegetação Média”, representada pela cor verde mais claro, é perceptível uma grande variação durante os anos estudados, no ano de 1984, foi registrado um valor de 4%, enquanto que em 2014, um valor de 29,54%, isso ocorreu principalmente pelo processo de ocupação do solo dos municípios, bem como, a retirada da vegetação existente, as quais influenciam diretamente nas reflectâncias.

As classes nomeadas entre 0,4 – 1, classificadas de “cobertura vegetal densa” estão representadas pela cor verde escuro, também variou significativamente, havendo uma perda durante os anos estudados, em que 1984 registrou um valor de 77,94%, enquanto que em 2014, um valor de 52% (Figura 6).

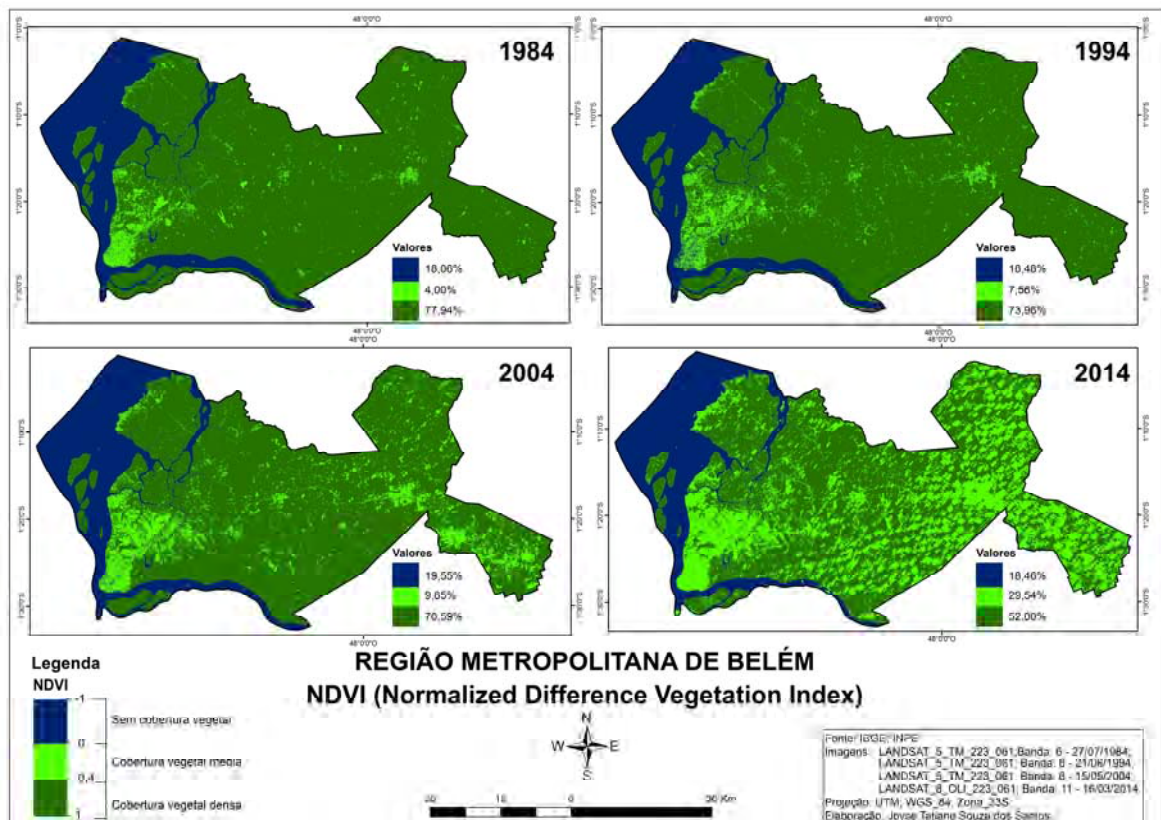


Figura 6: Espacialização do NDVI, por RMB. FONTE: Autor 2015.

Para uma melhor visualização os dados especializados acima, estão na forma de gráfico na Figura 7, em que podemos perceber quantitativamente a variação de cada classe.

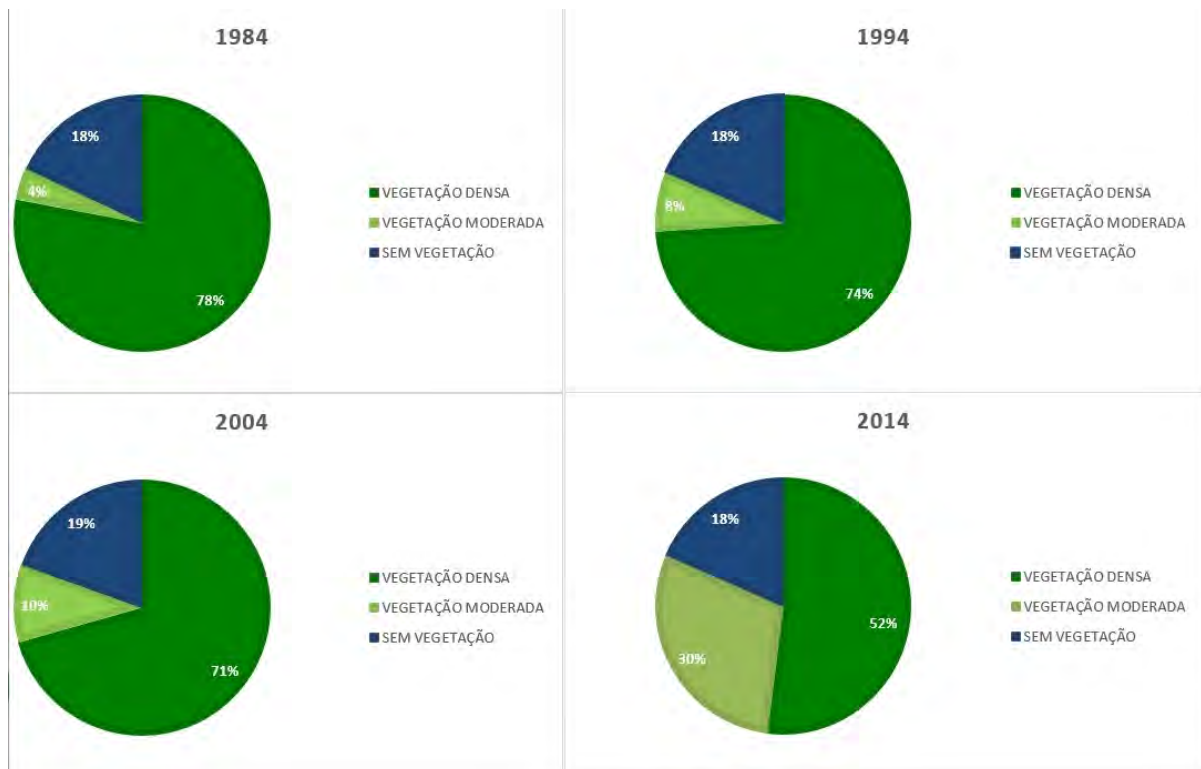


Figura 7: Representação do NDVI em gráfico. FONTE: Autor 2015.

Os resultados das imagens Landsat, para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2014, processadas através do software ArcGis. Estão apresentados na Tabela 3, onde estão identificados os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão de cada imagem, através de cálculos estatísticos, variando de -1 a +1.

Em relação aos diferentes usos e cobertura vegetal há uma clara interferência das áreas cobertas por vegetação, sendo esse comportamento observado em trabalhos como o de Yang (1994), Lima (2011); Pereira et al (2012), Coelho (2013).

Tabela 3: Valores do NDVI Mínimo e Máximo, Desvio Padrão e Médio FONTE: Autor 2015.

NDVI				
ANO	1984	1994	2004	2014
MIN	-1	-0,71	-1	-0,33
MAX	0,88	0,87	1	0,66
DESVIO PADRÃO	0,43	0,38	0,41	0,23
MÉDIA	0,44	0,41	0,37	0,3

Considerando que o índice de vegetação os valores altos próximos de +1, podendo-se supor que a presença de vegetação ajudou no equilíbrio da temperatura fato também observado por (Gomes; Malagón; Pereira, 2015) em Ariporo na Colômbia.

4.3. PERFIL DO CAMPO TÉRMICO DE SUPERFÍCIE

Diante das informações obtidas através das imagens de satélite, durante os dias dos anos estudados (1984, 1994, 2004 e 2014) foi realizado uma análise do perfil de temperatura de superfície através de 5 pontos escolhidos, dentro do município de Belém. Este município foi escolhido, por ter demonstrado quantitativamente, ter sofrido mais variações nos valores de temperatura, significativamente, por ter sofrido grandes modificações, tanto na infraestrutura, quanto o aumento da ocupação do solo nos últimos 30 anos.

Os pontos escolhidos foram divididos em 2 principais em linha: A: Área da Marinha (Bairro: Marambaia); B: Cruzamento entre as ruas Bernardo Sayão com Quintino Bocaiuva e E dois pontos secundários: P1: Bosque Rodrigues Alves e P2: Mercado de São Braz. Esses pontos principais foram colocados em pontos estratégicos de forma a atravessar a área urbana do município, enquanto os secundários, pontos situados em uma linha imaginária na ligação entre os pontos principais (Figura 8).

É perceptível nas imagens espacializadas que houve uma grande variação na temperatura de superfície no município de Belém, no decorrer dos anos, variando entre 27,07°C e 34,04°C, percebemos um aquecimento na área urbana, uma vez que, isso está diretamente relacionado a reflectância da captação da imagem, bem como, crescimento populacional.

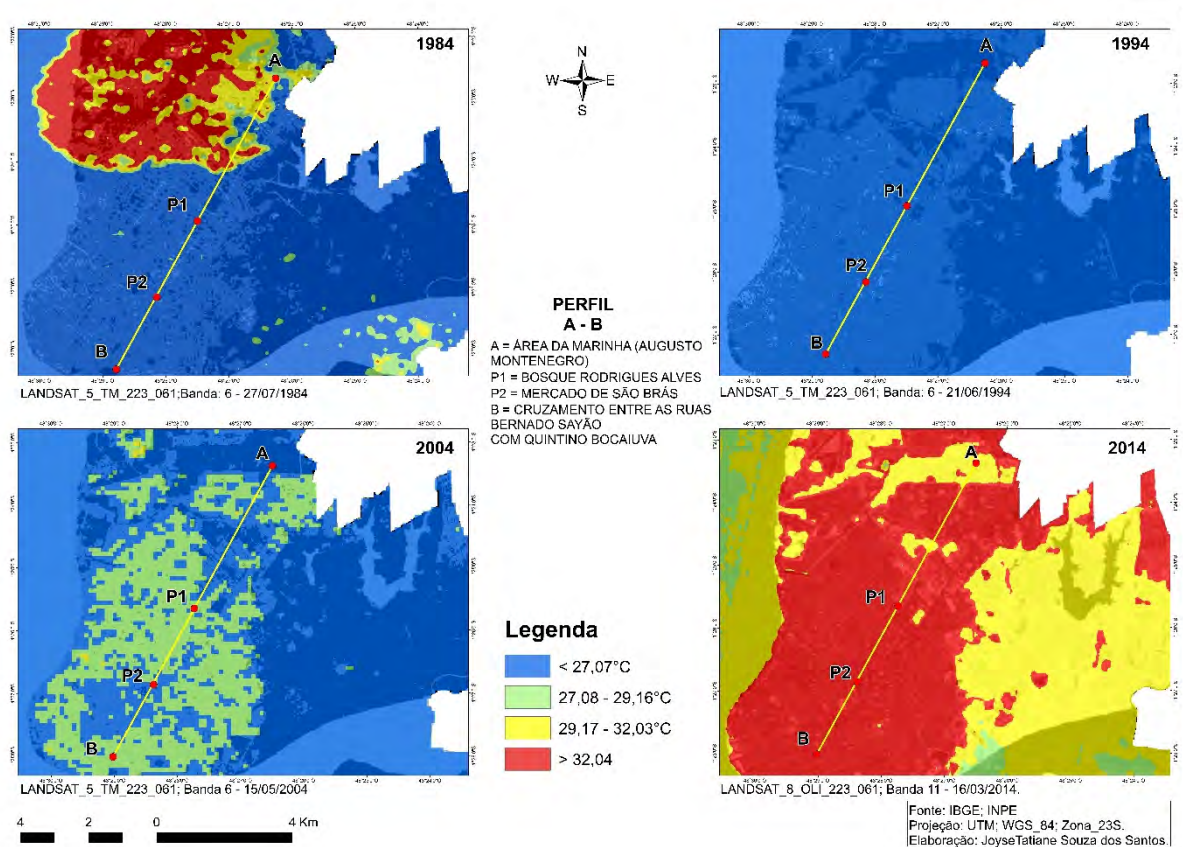


Figura 8 - Mapa mostrando o traçado Perfil A-B com objetivo de registrar temperaturas de superfície com base nos materiais. FONTE: Autor 2015.

Ao visualizarmos os dados graficamente (Figura 8), do traçado A-B e a distância de 9,76 Km, com base nos distintos locais como solo exposto, construções, água e vegetação, percebemos mais nitidamente as variações de temperatura de superfície, tanto por locais, quanto por anos. Em que fica perceptível a amplitude no ano de 2014, em que houve um aumento na temperatura nos pontos A B de 27,07°C agora para valores de 32,04°C em 2014, o mesmo observado nos pontos de referência P1 e P2 do ano de 2004 para 2014 onde era observado valores de 27,08°C a 29,16°C para novamente valores acima de 32,04°C, como confirmado na análise anterior, observamos então um aumento na temperatura em todos os pontos ocasionados pelas mudanças no uso do solo.

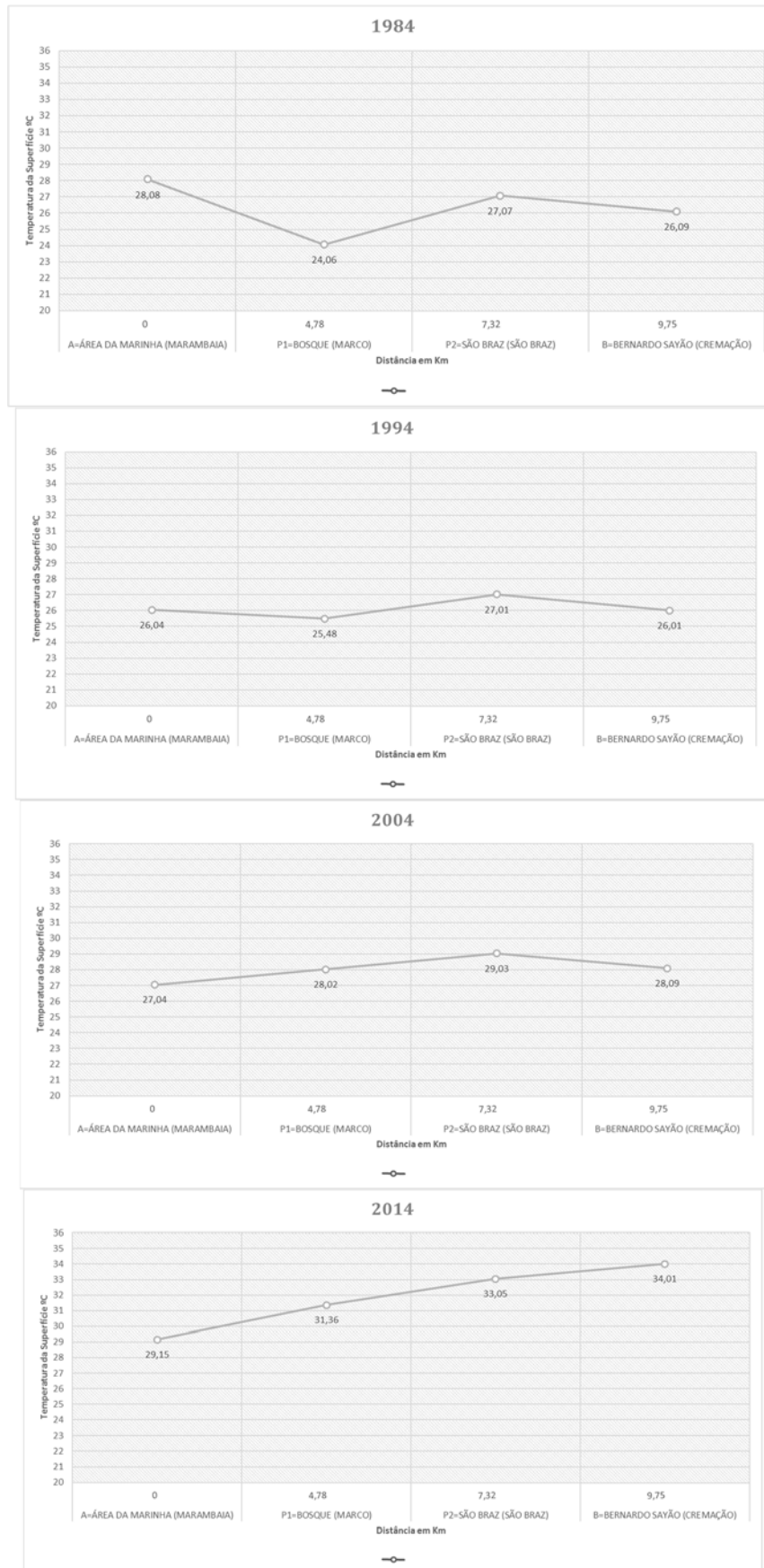


Figura 9: Representação das temperaturas de superfície em relação aos pontos AB. FONTE: Autor 2015.

Em síntese, os resultados obtidos comparados com outros descritos na literatura, são coerentes e aceitáveis, sendo que nenhum outro trabalho utilizou dados de temperatura de superfície e NDVI para esse espaço de tempo em Belém.

É interessante comentar que os resultados obtidos estão de acordo com os encontrados pelos autores citados anteriormente (Lima., 2011; Correa 2012). Embora as características gerais dos resultados obtidos neste trabalho sejam comuns a outros casos analisados na literatura, existem singularidades inerentes a cada caso.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se de modo geral, que o estudo sobre as temperaturas de superfície, temperatura do ar e o NDVI, através das imagens Landsat 5 e 8 e dados do INMET, mostraram-se satisfatórias, pois foi possível mostrar resultados coerentes em torno do que o estudo se propôs, uma vez que, ficou evidente o aumento de temperatura de superfície, durante nos dias dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014.

A análise de temperatura de superfície utilizada somente pela imagem de satélite na RMB evidenciou, de modo geral, o aumento na temperatura gradativamente durante os anos °C, devido a retirada de cobertura vegetal, concomitante ao processo de expansão urbana. Porém quando analisados por município ficou evidente que em alguns municípios que compõem a RMB, houve um aumento, enquanto outros mantiveram-se em equilíbrio, isso ocorre devido alguns municípios, durante o período estudado não passarem por um processo de urbanização intenso. Conforme trabalho da Embrapa realizado por Bastos et. Al (2002) já apontava.

Quando a média desses valores foram comparados com os dados observados pelo INMET e a climatologia, foi notório que as temperaturas mínimas e máximas nos pontos analisados no ano de 2004, foram mais elevadas do que nos demais dias outros anos analisados. Esse aumento de temperatura confirma a mudança no processo de ocupação do solo, contudo há uma diminuição em 2014, talvez modificado pelo mês de captação da imagem.

As análises do índice de vegetação através do NDVI, mostraram-se como resultado uma variabilidade nos valores nas classes “Cobertura de Vegetação Média” e “Cobertura de Vegetação Densa”, coerentes com o processo de urbanização da área em estudo.

As informações de temperatura da superfície adquirida através de técnicas de sensoriamento remoto com o uso do canal infravermelho termal do Landsat 5 e 8, para o estudo do perfil térmico do solo, através dos pontos A-B-C, mostraram-se satisfatórias sob o aspecto da utilização de geotecnologias em ambientes urbanos, contribuindo na identificação e espacialização das áreas com temperaturas mais elevadas, podendo ser identificadas as áreas de mais comodidade para se morar.

Portanto, sugere-se assim que, para novos estudos neste sentido, sejam explorados dados de sensoriamento remoto de melhor resolução espacial, bem como um período maior de observação, visando minimizar o efeito de situações extremas (nuvens excessivas). A distinção entre as diferentes ocupações do solo também pode ser interessante.

6. REFERÊNCIAS

- AHAMED, T.; TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 455-2469, 2011.
- AMARAL FILHO, J. A endogeneização no desenvolvimento econômico regional e local. *Planejamento e Políticas Públicas (PPP)*. n. 23 , p.261-286 , jun 2001.
- BARBOSA, R.V.R.; Vecchia, F.A.S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de caso em São Carlos (SP). *Revista Minerva*, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009.
- BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; NECHET D; SÁ, T. D. A. – Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. *Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos*
- BELÉM PA GOV. História de Belém – Pa. Disponível em http://www.belem.pa.gov.br/belemtur/site/?page_id=459 Acesso em: 2015.
- CHANDER ET AL, 2009 Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors - *Remote Sensing of Environment* 113 893–903
- CHUVIECO, E.; HUETE, A. *Fundamentals of satellite remote sensing*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor Francis Group, 2010. 436 p.
- COELHO, A. L. N - Distribuição das Classes de Temperatura de Superfície a Partir da Faixa do Infravermelho Termal do Sensor TM/Landsat-5 no Município de Vitória (ES) Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, INPE
- CROSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 1999, 164 p.
- FLOREZANO, T.G: 2007. *Iniciação Em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Textos. 2007.
- GALVÍNCIO, Fernandes; SILVA J. B; MOURA M. S. B; MACHADO C. C. C.- *Análise da temperatura do ar e da superfície no sítio boa felicidade em São José do Sabugi-PB no semi-árido do brasil* - *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 2, 2009.
- GARCÍA, F. F. *Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial síntesis S. A. 1985.
- GARVÃO, R.; CORREA, R. 2015. BELÉM. PA: mudanças na urbanização da metrópole amazônica. *Revista on-line pesquisa urbana discussão acadêmica*, 2(1): 3-10. 2015.
- GARTLAND, L. 2010. *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor*. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2010.

HABOUDANI, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing Environment*, v. 90, p. 337-352, 2004.

HÄME, T.; SALLI, K. A.; LOHI, A. A new methodology for estimation of biomass of conifer-dominated boreal forest using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 15, p. 3211-3243, 1997.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Histórico Pará-Belém. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=150140&search=%7Cb elem> Acesso em: 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. Histórico Pará-Belém. Disponível em: 2014. Estado do Pará. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pa> Acesso em: 2015.

INFRAERO < <http://www.infraero.gov.br/index.php/aeroportos/para/aeroporto-internacional-de-belem.html>>. Acesso em ago 2015.

INDICADORES URBANOS DO ESTADO DO PARÁ. 2013. <<http://www.idesp.pa.gov.br/>> Acesso em: 2015.

IPEA, 2010. Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Ipea. 2010.

JAUREGUI, E. Heat island development in México City. *Atmospheric Environment*, 22(31): 3821 – 3831. 1997.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Epiphânio, Antonio Roberto Formaggio, Athos Ribeiro dos Santos, Bernardo Friedrich Theodor Rudorff Claudia Maria de Almeida e Lênio Soares Galvão. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

LAZARIM, C. G.; ZULLO JUNIOR, J. Estimativa da temperatura da superfície terrestre, destinada ao monitoramento agrometeorológico de dias com temperaturas elevadas, utilizando dados do sensor AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 78-84. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UKUAH>>. Acesso em: 14 ago. 2015

LIMA José J. F. ; CARDOSO, Ana C. D. Belém [recurso eletrônico]: Transformações na Ordem Urbana ; coordenação Luiz Cesar de Queiroz Ribeiro. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2015. Disponível em < <http://goo.gl/7KpChJ>>. Acesso em jan 2016.

LIU, W. T. H. (2007). Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande, Editora Uniderp, 880p

- LOMBARDO, M. A. 1985. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Ed. Hucitec. 2015.
- LUCCA, G. R. de; PIMENTA, M. de C. A. 2015. O processo de renovação das áreas centrais na cidade contemporânea: O caso do conjunto arquitetônico e paisagístico da Praça do Congresso, em Criciúma (SC). *Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 2(7): 268-280. 2015.
- MALAGÓN, E. R. S; GOMES, L. V. PEREIRA, A C F. - *Análise multitemporal da temperatura de superfície para a área rural do município de Paz de Ariporo – departamento de Casanare – Colômbia* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto João Pessoa-PB 2015
- MARENCO, J. A. 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2006.
- MENDONÇA, F., Danni-Oliveria, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. Editora Oficina de texto. São Paulo. 2007. 206p.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4ª Ed. Atual. E ampl., Viçosa, MG, Ed. UFV, 2011, 422p
- MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. The interpretation of Spectral Vegetation Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 33, n. 2, p. 481-486, 1995b.
- O PARÁ. 2010. Gente. Disponível em: http://www.pa.gov.br/O_Para/gente.asp Acesso em: 2015.
- PAIVA, C.M. Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR. 2005. 248 p. (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2005). Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.
- PEREIRA et al 2012 - análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia barra dos coqueiros (goiás) *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.1243
- PINHEIRO, A.; PONTE, J.; RODRIGUES.; R. 2002. Saneamento básico e governança metropolitana na região metropolitana de Belém. In: *Relatos e estudos de caso da gestão metropolitana no Brasil*. Rio de Janeiro: Ipea. 2002.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p.
- PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade*, [S.l.], v. 20, n. 3, p. 601-636, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ecos/v20n3/a06v20n3>>. Acesso em: 28 de Setembro de 2015.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SO-351, v. 1, p. 309-317, 1973

SARAIVA, A. L. B da C., 2014. *O clima urbano de Mossoró (RN): o subsistema termodinâmico*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2014.

TEZA, C.T.V.; BAPTISTA, G.M. de M. 2005. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras, in *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia. 2005.

THENKABAIL, P. S. ENCLONA, E. A.; ASHTON, M. S.; LEGG, C.; DE DIEU, M. J. Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rainforests. *Remote Sensing of Environment*, v. 90, n. 4, p. 23-43, 2004

USGS, 2013 informativos Landsat 8 disponível em <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> acesso 2015

VLAHOV, D. et al. 2005. Perspectives on urban conditions and population health. *Cadernos de Saúde Pública*, 3(21): 949-957. 2005.

7. APÊNDICES

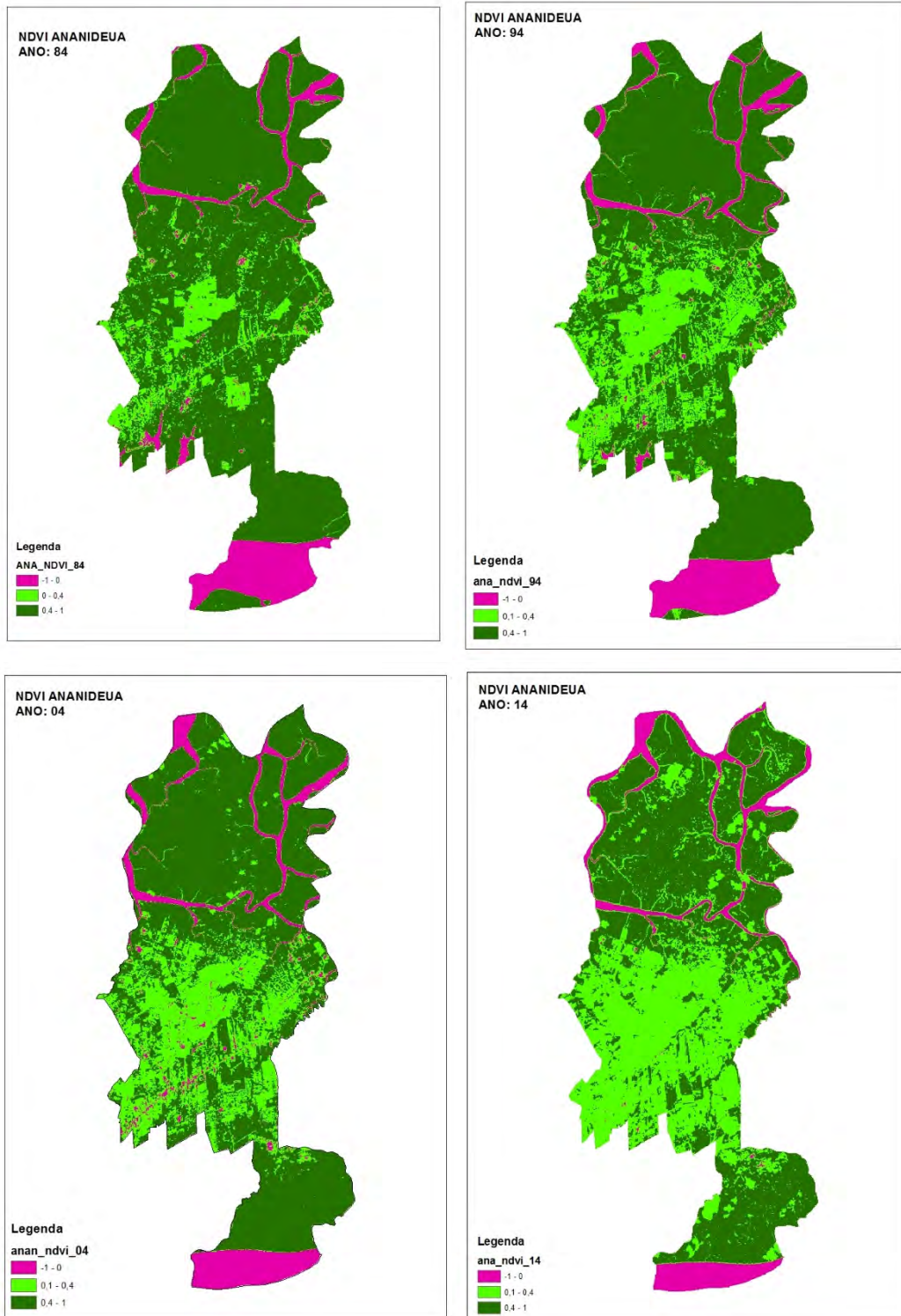




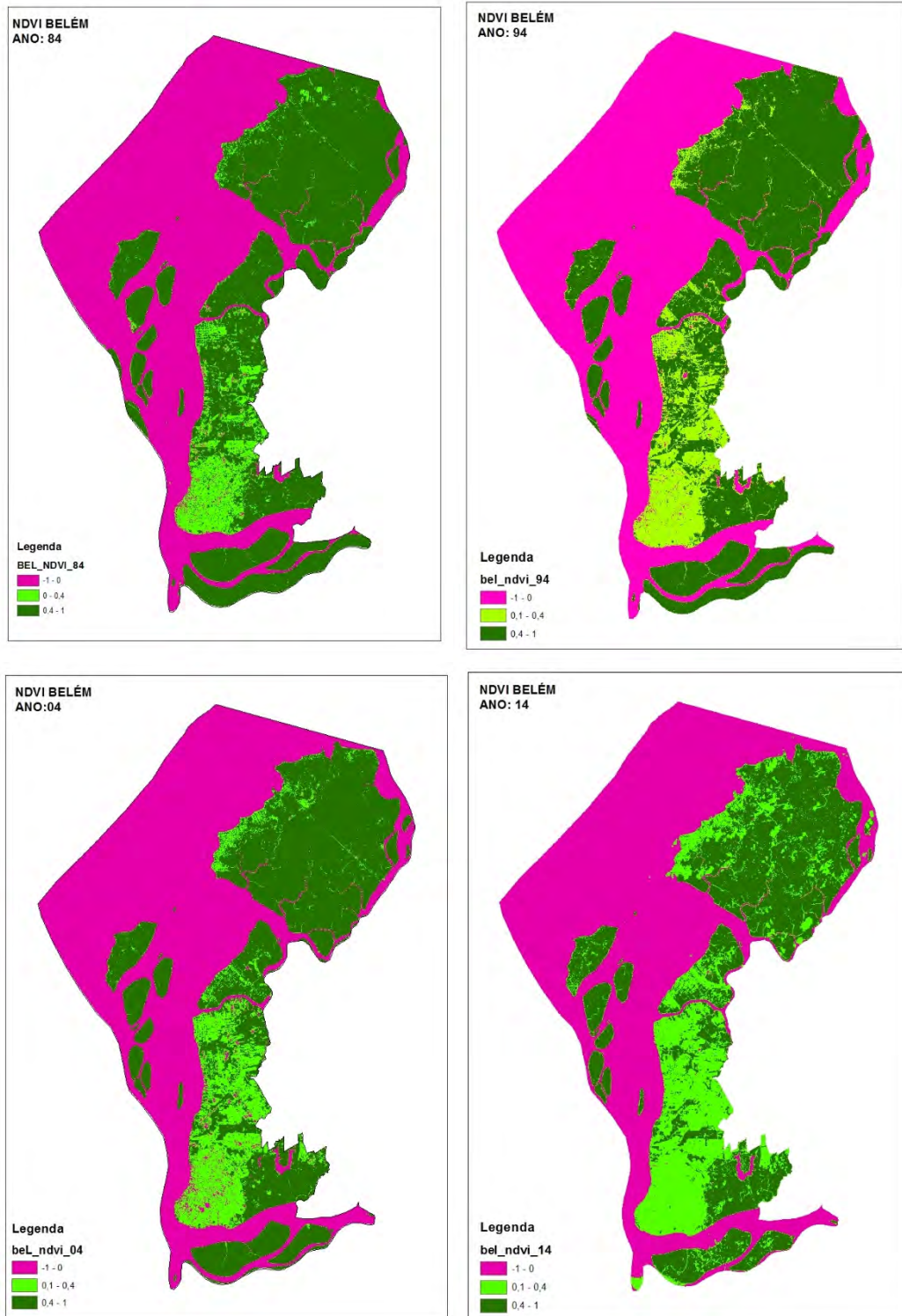
Apêndice 1: comportamento da temperatura de superfície nos anos analisados por município e RMB; Fonte: Autor



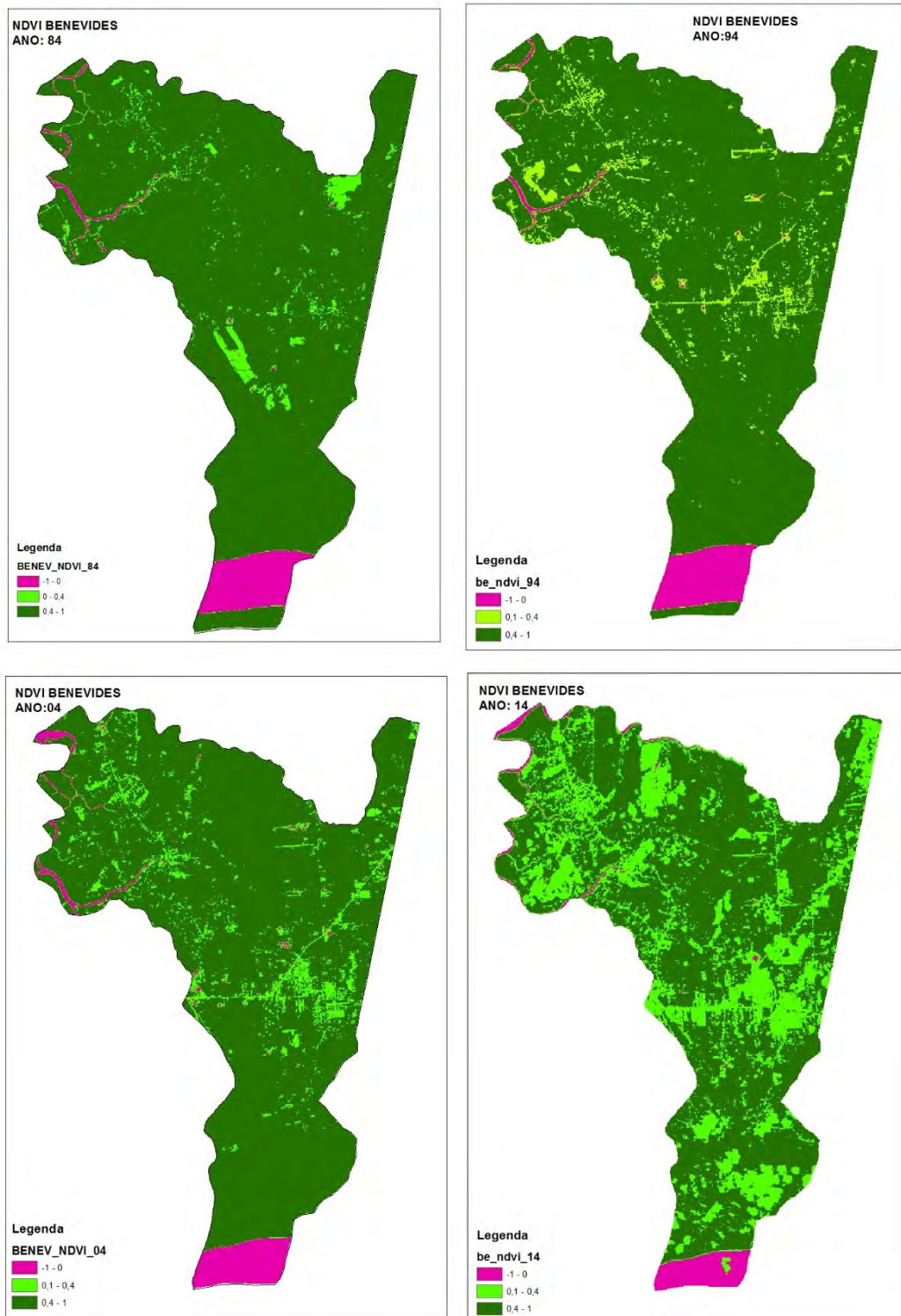
Apêndice 2: Gráfico da amplitude térmica, Fonte: Autor 2015.



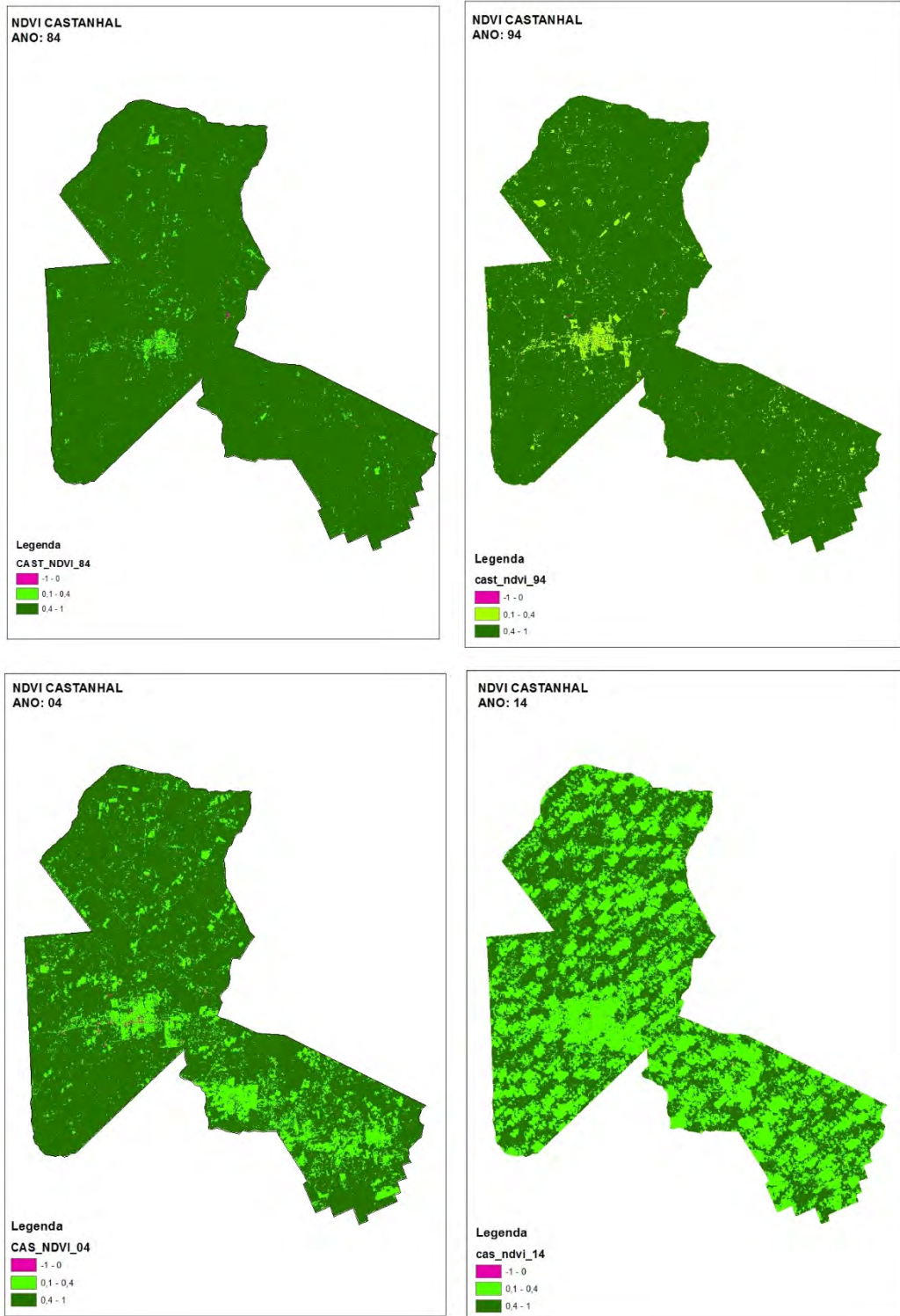
Apêndice 3: NDVI multitemporal por município – Ananindeua Fonte: Autor 2015.



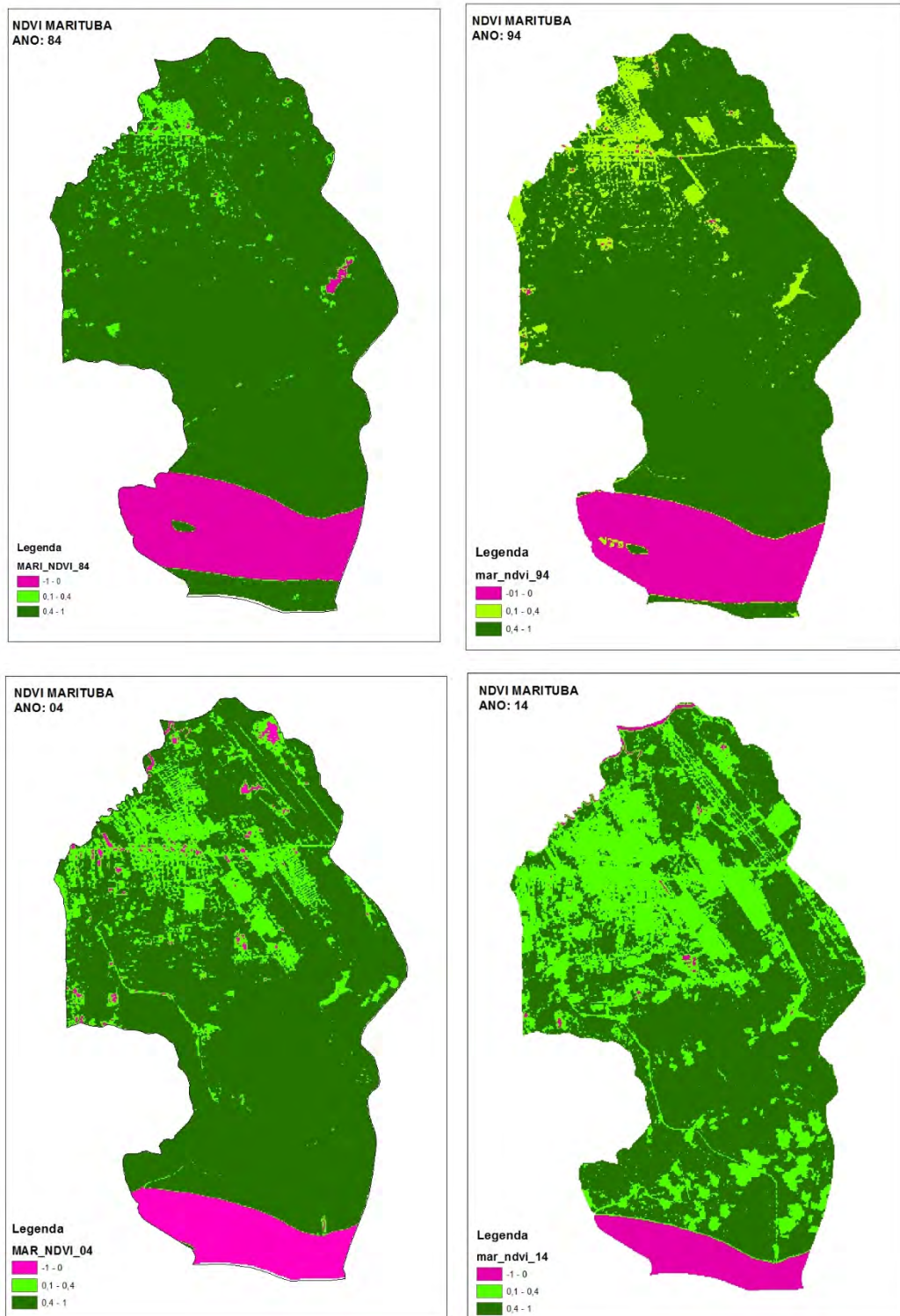
Apêndice 4: NDVI multitemporal por município – Belém Fonte: Autor 2015.



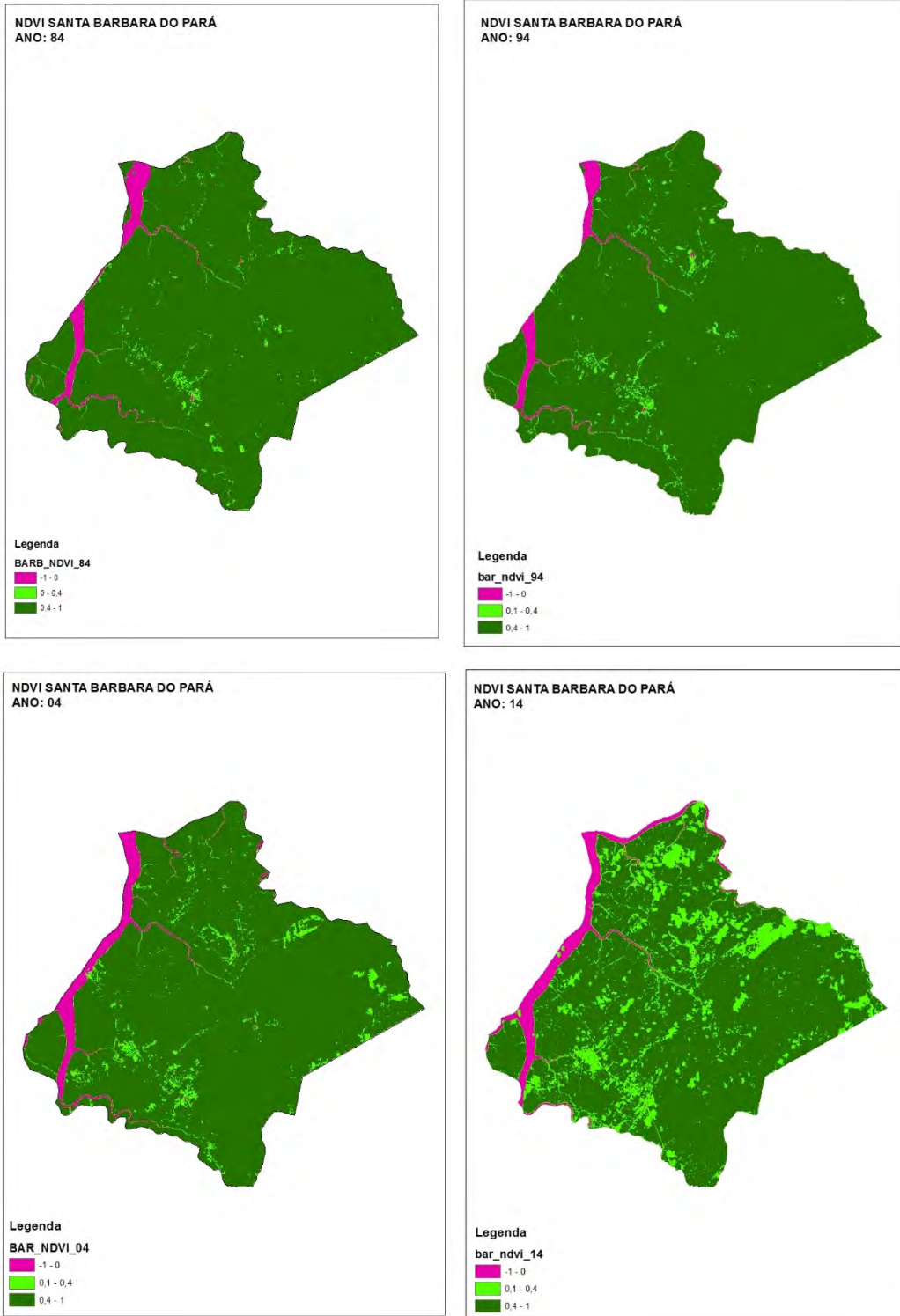
Apêndice 4: NDVI multitemporal por município – Benevides Fonte: Autor 2015.



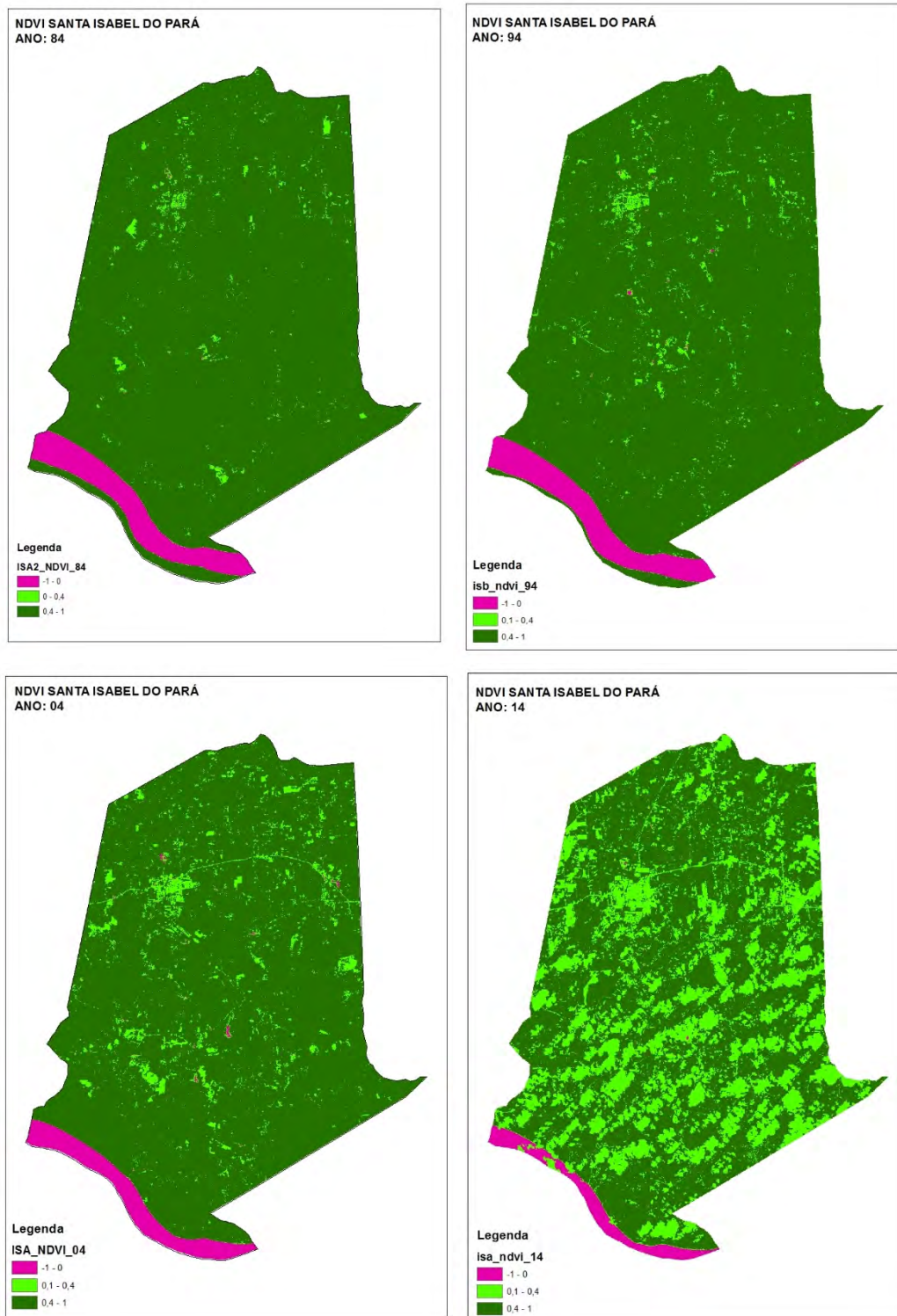
Apêndice 5: NDVI multitemporal por município – Castanhal Fonte: Autor 2015.



Apêndice 6: NDVI multitemporal por município – Marituba Fonte: Autor 2015.



Apêndice 8: NDVI multitemporal por município – Santa Barbará do Pará Fonte: Autor 2015.



Apêndice 9: NDVI multitemporal por município – Santa Isabel do Pará Fonte: Autor 2015.