



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS –
PPGCA**

THAIS GLEICE MARTINS BRAGA

**A URBANIZAÇÃO E O COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA
SUPERFICIAL: UMA ANÁLISE TEMPORAL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM**

**Belém – Pará
Janeiro - 2017**

THAIS GLEICE MARTINS BRAGA

**A URBANIZAÇÃO E O COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA
SUPERFICIAL: UMA ANÁLISE TEMPORAL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de mestre em ciências ambientais.
Orientador: Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba.
Coorientadora: Dra. Maria de Nazaré Martins Maciel

Belém – Pará
Janeiro - 2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Braga, Thais Gleice Martins, 1991-

A urbanização e o comportamento da temperatura superficial:
uma análise temporal da Região Metropolitana de Belém / Thais
Gleice Martins Braga. – 2016.

54 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Breno Cesar de Oliveira Imbiriba
Coorientadora: Maria de Nazaré Martins Maciel

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2016.

1. Sensoriamento remoto – Belém (PA). 2. Monitorização
ambiental – Belém (PA). 3. Climatologia urbana – Belém (PA). I.
Título.

CDD 22. ed. 621.3678098115

THAIS GLEICE MARTINS BRAGA

**A URBANIZAÇÃO E O COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA
SUPERFICIAL: UMA ANÁLISE TEMPORAL DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELÉM DO PARÁ**

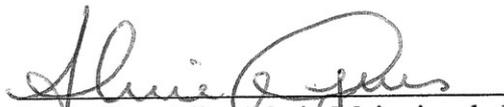
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 04/ 01 / 2017

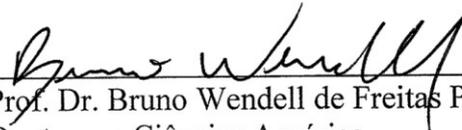
Banca examinadora:



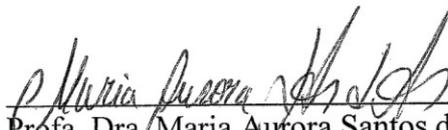
Prof. Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba - Orientador
Doutor em Física
Universidade Federal do Pará



Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Bruno Wendell de Freitas Pereira
Doutor em Ciências Agrárias
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dra. Maria Aurora Santos da Mota
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

A DEUS toda honra e toda gloria. É dele toda vitória alcançada em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a DEUS por ter sido misericordioso e bondoso comigo, e ter feito dos meus sonhos os dele. Pois sem o DEUS do impossível, JESUS CRISTO, nenhuma maravilha eu teria vivido.

Agradeço as minhas mães, Maria Isabel Tolosa Martins e Ivaneide Tolosa Martins Braga, minhas rainhas, meus verdadeiros ídolos, por terem deixado de viver seus sonhos em prol dos meus, por todo carinho e dedicação ao longo de uma vida inteira dedicada a minha felicidade. Agradeço a minha irmã, Adriana Martins de Freitas por todo incentivo e apoio de sempre e ao meu namorado por todo amor, carinho e compreensão.

Não posso deixar de agradecer aos anjos que me ajudaram a viver esse sonho, que sempre acreditaram no meu potencial e que nunca desistiram do meu aprendizado: Maria de Nazaré Martins Maciel, Paula Fernanda Viegas Pinheiro, Breno Cesar de Oliveira Imbiriba, Luiz Rodolfo Reis Costa, João Almiro Corrêa Soares.

Agradeço aos meus amigos do PPGCA, que permitiram que este caminho se tornasse mais brando e alegre, muito obrigada pela parceria, pela troca de conhecimento, todos sem exceção contribuíram para o meu aprendizado pessoal e profissional, Agradeço a Luciana e a Lizane da secretaria por toda paciência e boa conduta para com todos os alunos, bem como ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, na pessoa do professor Edson Rocha e Aline Meiguins, pela oportunidade de ter crescido profissionalmente e por toda contribuição na minha formação pessoal e profissional,

Agradeço a Universidade Federal do Pará, Ao Museu Emilio Goeldi, a EMBRAPA, e a Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA pelos espaços e por todo apoio que foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

O referido estudo foi desenvolvido no período de 1984 a 2015 na região Metropolitana de Belém do Pará, com o objetivo de avaliar o comportamento da temperatura superficial da região metropolitana de Belém do Pará, com a finalidade de acrescentar novos subsídios ao desenvolvimento de estratégias para o planejamento urbano da região metropolitana de Belém, por meio da utilização de sistemas de informações geográficas - SIG e sensoriamento remoto como instrumentos de estudo da formação de ilhas de calor no ambiente urbano, mapeando a evolução histórica da cobertura vegetal e do uso do solo, relacionando à trajetória de crescimento urbano com as consequentes mudanças na paisagem e o processo de uso do solo. Tal objetivo foi realizado através da utilização de geotecnologias, especificamente no procedimento metodológico de classificação supervisionada de imagens de satélite Landsat 5 e 8 para elaborar o mapeamento de uso e cobertura da terra, além desta aplicou-se também o índice de vegetação normalizada – NDVI para obter através do mapeamento a evolução da cobertura vegetal ao longo do período de estudo visando entender o processo de desflorestamento e suas implicações na formação de ilhas de calor e no aumento da temperatura superficial, para compreender tal variável, utilizou-se o procedimento de extração do gradiente de temperatura em °C. Todos esses procedimentos foram desenvolvidos em programas específicos, aplicados a análise a partir de sensores remotos. Os resultados foram obtidos com sucesso, verificando o comportamento da vegetação ao longo de mais de trinta anos, identificando as áreas críticas de desflorestamento e relacionando as áreas de solo exposto e o aumento da urbanização e o crescimento urbano com a formação de ilhas de calor, além disso, constatou-se que a vegetação regrediu significativamente, e a área de solo exposto mais do que triplicou saindo de 8% em 1984 para 32% em 2015 e que em tais áreas a temperatura apresenta-se entre 31 a 51,1°C.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto – Belém (PA). Monitorização ambiental – Belém (PA). Climatologia urbana – Belém (PA).

ABSTRACT

This study was developed from 1984 to 2015 in the metropolitan region of Belém do Pará, with the objective of evaluating the surface temperature behavior of the metropolitan area of Belém do Pará, with the purpose of adding new subsidies to the development of strategies for the Urban planning of the metropolitan area of Belém, through the use of geographic information systems - GIS and remote sensing as instruments to study the formation of heat islands in the urban environment, mapping the historical evolution of vegetation cover and land use, relating To the trajectory of urban growth with the consequent changes in the landscape and the process of land use. This objective was accomplished through the use of geotechnologies, specifically in the methodological procedure of supervised classification of Landsat 5 and 8 satellite images to elaborate the mapping of land use and cover, besides this the normalized vegetation index (NDVI) was also applied. To obtain through the mapping the evolution of the vegetation cover during the study period in order to understand the process of deforestation and its implications in the formation of heat islands and in the increase of surface temperature, to understand this variable, the extraction procedure of the Temperature gradient in ° C. All these procedures were developed in specific programs, applied to the analysis from remote sensors. The results were obtained successfully, verifying the behavior of the vegetation over more than thirty years, identifying the critical areas of deforestation and relating the areas of exposed soil and the increase of urbanization and urban growth with the formation of heat islands, In addition, it was found that the vegetation regressed significantly, and the exposed soil area more than tripled from 8% in 1984 to 32% in 2015 and that in such areas the temperature ranges from 31 to 51.1 ° W.

Keywords: Remote sensing - Belém (PA). Environmental monitoring - Belém (PA). Urban climatology - Belém (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa de Localização referente à Região Metropolitana de Belém do Pará..	24
Figura 2	Mapa de Localização referente à Região Metropolitana de Belém do Pará..	32
Figura 3	Distribuição das áreas das classes de cobertura vegetal e uso do solo na Região Metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.....	34
Figura 4	Variação das áreas das classes de cobertura vegetal e uso do solo na Região Metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.....	34
Figura 5	Equação de regressão para projeção das áreas de vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2015.....	36
Figura 6	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da região metropolitana de Belém do Pará – Brasil no período de 1984 a 201.....	38
Figura 7	Teste de Correlação de Pearson entre área de vegetação, obtida pelo NDVI, e temperatura média anual para o período de 1984 a 2015.....	41
Figura 8	Teste de Correlação de Pearson entre área de solo exposto, obtida pelo NDVI, e temperatura média, para o período de 1984 a 2015.....	41
Figura 9	Teste de Correlação de Pearson entre área de água, obtida pelo NDVI, e temperatura média, para o período de 1984 a 2015.....	42
Figura 10	Mapeamento da temperatura superficial da região Metropolitana de Belém do Pará no período de 1984 a 2015.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Distribuição das áreas (ha) por classes de cobertura vegetal e uso do solo na região metropolitana de Belém, no período de 1984 a 2015, com os respectivos resultados do teste Qui-quadrado	34
Tabela 2-	Distribuição e projeção das áreas das classes de vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2035	36
Tabela 3-	Área (ha e %) das classes de vegetação, solo exposto e água, com os valores de NDVI e a temperatura média anual no período de 1984 a 2015.	40
Tabela 4-	Matriz de Correlação de Pearson entre o período de análise (1984-2015), NDVI vegetação, NDVI solo, NDVI água e temperatura média anual.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DS Desenvolvimento Sustentável

ONU Organização das Nações Unidas

CSD Comissão para o Desenvolvimento das Nações Unidas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNMA Política Nacional de Meio Ambiente

SISNAMA Sistema Nacional de Meio Ambiente

MMA Ministério do Meio Ambiente

IDESP Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará.

OMMA Órgão Municipal de Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Hipóteses	14
2	REFERENCIAL TEORICO	15
2.1	O clima urbano	15
2.2	A formação de ilhas de calor urbana.....	17
2.3	Clima urbano local – região metropolitana de Belém do Pará.....	20
2.4	Sensoriamento remoto e os estudos da temperatura superficial.....	22
3	MATERIAL E METODOS	24
3.1	Área de estudo	24
3.2	Atributos climáticos da região metropolitana de Belém	25
3.3	Obtenção dos dados.....	25
3.4	Processamento digital das imagens	26
3.4.1	Classificação das imagens e mapeamento de uso e cobertura do solo	26
3.4.2	Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada.....	26
3.4.3	Geração de imagens da temperatura superficial	27
3.5	Análise estatística dos dados	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Análise da cobertura vegetal e uso do solo da região metropolitana de belém no período de 1984 a 2015	31
4.2	Análise do índice de vegetação da diferença normalizada e sua correlação com a temperatura superficial média anual na região metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.....	38
4.3	Temperatura superficial.....	43
4.4	Uso do solo, cobertura vegetal, NDVI e temperatura superficial	46
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

As atitudes antrópicas sobre a superfície terrestre têm acarretado diversos fatores negativos com relação ao clima urbano, tendo que levar a sociedade contemporânea a repensar seus usos e hábitos com relação ao meio ambiente como um todo, e principalmente, no futuro do planeta. Dentre os principais fatores negativos provenientes das ações antrópicas está o aumento da temperatura global, variável diretamente ligada às mudanças climáticas (CALLEJAS, 2011).

Sabe-se que todo processo de urbanização gera modificações ao solo nativo. Este originalmente vegetado, vai dar espaço a um solo geralmente compactado e impermeabilizado, devido a presença da construção civil, estradas, pavimentação, dentre outros inúmeros processos que apresentam características termais diferentes do solo nativo. De acordo com Brandão (2011) essas novas características irão provocar transformações quanto ao clima urbano local, devido ao aumento de temperatura superficial. Este processo irá provocar uma diferença de temperatura superficial urbana com relação as suas áreas adjacentes, gerando o fenômeno denominado de Ilhas de Calor.

Ainda segundo Brandão (2011), o efeito “ilha de calor” é um dos mais significativos no clima urbano e sua intensidade depende das condições locais como as diversas edificações, do uso e cobertura do solo, morfologia dos materiais constituintes, relação entre as áreas vegetadas e desflorestadas presentes na paisagem, dentre outros.

Dessa forma, a região metropolitana de Belém nas últimas décadas apresentou um grande crescimento urbano, especialmente no âmbito da verticalização civil e do crescimento horizontal desassistido, onde as superfícies naturais são rapidamente substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais sem o menor estudo de viabilidade ambiental, sendo feito a supressão da cobertura vegetal sem os devidos planos de manejo adequado, o que acarreta em danos ambientais gravíssimos tanto no âmbito da fauna quanto da flora (COSTA, 2011). Por menor que seja a modificação na cobertura da terra, os microclimas existentes serão alterados e todo tipo de supressão ou ainda de construção proporcionará um novo microclima (WENG, 2010).

Nesta perspectiva, o uso e cobertura da terra também se torna um parâmetro de suma importância quando se pretende estudar o comportamento do clima urbano, especificamente a temperatura superficial (MONTEIRO, 1991).

Esses dados de temperatura da superfície quando correlacionados com as informações de uso e ocupação do solo se tornam insumos para analisar o conforto térmico de regiões

urbana e rurais (LIMA et al., 2011), Tal tecnologia é amplamente utilizada em tais regiões, pois neste sentido temos notáveis variações de temperatura superficial e outras variáveis climáticas, (MONTEIRO, 2011).

Destaca-se então, a necessidade de um trabalho que aborde mais sistematicamente a influência da cobertura do solo, em meios urbanos, nos valores de temperatura superficial terrestre com base na análise de séries históricas, haja vista a possibilidade de se verificar, por exemplo, o verdadeiro peso da ação antrópica na alteração do campo térmico superficial. Soma-se a isso o fato da expansão das cidades resultar no aumento da intensidade das ilhas de calor.

Dessa forma este estudo se propõe avaliar o comportamento da temperatura superficial da região metropolitana de Belém do Pará no período de 1984 a 2015, buscando relacionar a formação de ilhas de calor com a trajetória de crescimento urbano e com as consequentes mudanças na paisagem e o processo de uso do solo.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa da evolução histórica das ilhas de calor na região metropolitana de Belém, relacionando à trajetória de crescimento urbano e às consequentes mudanças na cobertura vegetal e uso do solo ocorridos no período de 1984 a 2015.

1.1.2 Objetivos Específicos

✓ Analisar alterações da cobertura vegetal e uso do solo ocorrido na região metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015, através de mapeamento por meio da classificação supervisionada.

✓ Avaliar as mudanças nos valores de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para a vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2015, bem como sua correlação com a temperatura superficial média;

✓ Discutir a correlação entre a temperatura superficial média com a vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2015.

✓ Estimar os valores de Temperatura Superficial Terrestre (TST) da região metropolitana de Belém, identificando a formação de ilhas de calor por meio de dados de sensoriamento remoto termal em um recorte temporal de 1984 a 2015.

1.2 Hipóteses

O crescimento urbano desordenado da região metropolitana de Belém do Pará está influenciando o aumento da temperatura superficial e o surgimento das Ilha de Calor Urbana ao longo de 40 anos.

Mudanças recentes da cobertura vegetal e do uso do solo nos municípios da região metropolitana de Belém causa impacto considerável no microclima da região metropolitana de Belém do Pará.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 O clima urbano

O clima urbano é um sistema complexo, singular à cidade. Lugar de profundas alterações nos parâmetros atmosféricos, abrangendo circulação, turbulência e dispersão do ar, albedo e estocagem de calor, evapotranspiração e balanço de energia na superfície (TAHA, 1997; ARNFIELD, 2003; KANDA, 2006).

A ilha de calor é a principal manifestação do clima urbano e um dos principais problemas ambientais do século XXI (RIZWAN; DENNIS; LEUNG, 2008), embora outros fenômenos associados ou resultantes façam parte do sistema clima urbano, como a poluição atmosférica e as inundações.

No início do século XIX, em 1833, Howard inaugurou as primeiras pesquisas em clima urbano, que, mais tarde, sustentaram a análise da ilha de calor urbana, ao comparar a temperatura da cidade com o meio rural, encontrando, na primeira, valores bem mais elevados, acima de 2°C (STEWART, 2011). Em meados do século XX, Manley (1958), pela primeira vez, denominou o gradiente térmico mais elevado, encontrado na cidade, como ilha de calor.

Os trabalhos de Landsberg e Chandler para a cidade de Londres são obras clássicas para o estudo do clima urbano. Landsberg (1956) comparou o centro urbano de Londres com suas imediações e observou médias térmicas anuais superiores na cidade, principalmente no que concerne à temperatura mínima, bem como no que diz respeito às chuvas e ao nevoeiro. Chandler (1965) monitorou a ilha de calor urbana e encontrou diferenças de até 2,0°C na área central, no verão, em relação a sua circunvizinhança. No transcorrer do século XX, e do atual, novos estudos em ilhas de calor foram desenvolvidos (ARNFIELD, 2003; STEWART, 2011).

Segundo Lima, Pinheiro e Mendonça (2016) o clima das cidades começou a despertar interesse científico a partir de meados do século XIX quando as cidades industrializadas, especialmente na Inglaterra e França, apresentaram ambientes fortemente degradados. O crescimento das cidades, conjuntamente ao das populações urbanas, introduz novos elementos físicos e químicos na atmosfera, alterando as condições naturais precedentes e originando o clima urbano. Os problemas relacionados à atmosfera urbana tornam-se evidentes por meio da precariedade na qualidade do ar, das ilhas de calor e de ilhas de frio, das chuvas ácidas, etc.

Na cidade de Londrina, Mendonça (2003) afirma que os locais de fluxo intenso de veículos e pessoas, concentração de edificações verticais, aliados a poucos espaços verdes são

propícios à formação de ilhas de calor e desconforto térmico. Ressalta ainda que a variação hipsométrica e a orientação das vertentes exercem influência considerável no campo-térmico da cidade, pois, a partir da análise minuciosa do sítio e da utilização de equipamentos simples, constatou-se que os locais mais elevados do relevo e de orientação de vertentes voltadas, sobretudo para norte, tendem a ser os mais aquecidos.

As atitudes antrópicas sobre a superfície terrestre têm acarretado diversos fatores negativos com relação ao clima urbano, tendo que levar a sociedade contemporânea a repensar seus usos e hábitos com relação ao meio ambiente como um todo e principalmente no futuro do planeta. Dentre os principais fatores negativos provenientes das ações antrópicas está o aumento da temperatura global, variável diretamente ligada às mudanças climáticas, (CALLEJAS, 2011).

A temperatura do ar é uma das variáveis climáticas que maior reflete as variações do balanço de radiação e energia, provocada pela mudança na cobertura da superfície. Quando ocorre o aumento da urbanização, uma cidade avança sobre áreas florestadas, havendo o desmatamento/supressão vegetal, e áreas vegetadas são substituídas por construções civis, provocando um determinado desequilíbrio no micro clima local devido a retirada de um importante atenuador da temperatura superficial que é a vegetação (COELHO, 2013; MONTEIRO, 2015).

A vegetação, “enquanto fator climático” é destacada na obra de Mendonça (2003) por desempenhar fundamental importância dentro do espaço urbano. A vegetação auxilia na qualidade do ar por fixar poluentes e microrganismos nocivos à saúde, recicla os gases atmosféricos através da fotossíntese e aumenta a permeabilidade do solo por meio das raízes das plantas. Devido a essas e outras funções, diz Mendonça (2003) que os espaços verdes como parques, jardins e alamedas são admitidos como indispensáveis nos projetos arquitetônicos e obras de planejamento.

Essas por sua vez, no âmbito da prática, encontram menos obstáculos nas cidades pequenas e médias para serem efetivadas do que nas cidades grandes e metropolitanas, em virtude da urbanização ainda não consolidada (LIMA; PINHEIRO; MENDONÇA, 2016).

Estudos como de Souza (2004) mostram claramente que o crescimento urbano sem o devido planejamento territorial e arborístico geram problemas graves como o de ilhas de calor, pois locais com o elevado índice de construções civis, cimentação, compactação do solo e impermeabilidade acarreta o aumento da temperatura superficial devido a poucas áreas vegetadas nos centros urbanos.

Neste sentido alguns autores tem estudado o comportamento da temperatura superficial na região amazônica como Carvalho, Soares e Silva (2013), Souza e Alvalá (2012) que estudaram a cidade de Manaus e o elevado aumento da temperatura superficial no período de 1990 a 2011 através de imagens de satélites, os mesmos identificaram que houve um aumento em 2°C da temperatura devido o uso e ocupação do solo, alterando o microclima da cidade, bem como o conforto térmico local e de áreas adjacentes influenciando na qualidade de vida da população.

A preocupação com a queda da qualidade ambiental urbana se fez presente no Brasil a partir das décadas de 1950 e 1960, com a intensificação do processo de urbanização, e serviu de impulso para os primeiros estudos direcionados ao Clima Urbano (MONTEIRO, 1976). Os primeiros estudos surgiram na década de 1960, com investigações sobre as cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, mas há também uma grande concentração dos estudos na região Sudeste, a mais desenvolvida do país, com destaque para o estado de São Paulo.

Segundo Pinheiro (2012), os números de estudos em Clima Urbano nesta região refletem o grau de urbanização que ali se concretizou. A atmosfera, além de todos os componentes naturais da paisagem, é tão mais alterada quanto mais o fenômeno da urbanização se intensifica; a geração de um clima particular, o clima urbano, será tão mais definida quanto maior e mais dinâmica for a cidade (MENDONÇA, 2012).

2.2 A formação de ilhas de calor urbana

A ilha de calor urbana (do inglês Urban Heat Island - UHI) é o calor característico das áreas urbanas, quando comparadas com seus arredores (não-urbanizados) e, geralmente, refere-se ao aumento na temperatura do ar, mas pode igualmente referir-se ao calor relativo da superfície ou materiais subsuperficiais (LUCENA, 2013).

O fenômeno de ilhas de calor é a mais bem conhecida modificação climática de ordem antropogênica. As ilhas de calor são consideradas como uma anomalia térmica resultada do processo de crescimento urbano, no tocante a alteração da superfície (essencialmente no que se refere aos materiais que a compõem) e da atmosfera local, que favorecem a absorção do fluxo de radiação solar (CAMARGO et al., 2007).

A supressão da cobertura vegetal em áreas urbanas e regiões rurais adjacentes, bem como a compactação do solo ocasionada pelo processo de urbanização, gera o aumento da temperatura superficial, e este processo é o princípio ativo da formação de ilhas de calor, (CALLEJAS, 2011).

A importância dos estudos relacionados com o aumento da temperatura superficial, e consequentemente a formação de ilha de calor urbana, vem aumentando de acordo com que a população urbana no mundo também aumenta e de forma significativa. Dentro deste sentido a ONU em 1999 já destacava através de um relatório elaborado com base em análises efetuadas pela mesma que 80% da população mundial no ano de 2025 viverá em grandes centros urbanos (CARVALHO; SOARES; SILVA, 2013).

A magnitude exata do diferencial de temperatura depende de detalhe como chuva, área vegetada e compactação do solo, e varia de lugar para lugar. Por exemplo, 7°C em Várzea Grande - BA (SOUZA; MAITELLI, 2005), em áreas metropolitanas no Mato Grosso – Cuiabá observou-se apenas um máximo de 4,7°C, de acordo com os estudos de Cox (2008) e Callejas (2011).

Com base nesses estudos para reduzir seus efeitos das Ilhas de Calor Urbanas ou evitar o seu agravamento, visando à qualidade de vida da população urbana, ressalta-se o processo de arborização de centros urbanos que leva a redução da temperatura superficial, bem como o conforto térmico em grandes centros urbanos (COSTA, 2011).

A falta de mecanismos de controle sobre estes impactos também é um agravante nestes casos, mas o que vêm chamando atenção de alguns autores para este problema, é a arquitetura imprópria ao clima, a responsabilidade pelo aumento da poluição e da quantidade de calor emitido nos centros urbanos, originando diversas alterações ambientais, incluindo danos à saúde, ao conforto térmico e à economia da população (BARROS; LOMBARDO, 2016a).

De acordo com Meireles, França e Peres (2014), vários fatores contribuem para o desenvolvimento de uma ilha de calor urbana, um deles é a concentração relativamente alta de fontes de calor nas cidades. Segundo Barros e Lombardo (2016b), as propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas também facilitam a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais, contribuindo para um aumento no contraste de temperatura entre essas regiões.

Lombardo (1985) conceitua ilha de calor urbana como sendo um fenômeno que ocorre sobre áreas urbanas, consistente na presença de temperaturas à superfície relativamente maiores que as encontradas nas regiões fora da cidade (regiões rurais ou periféricas com vegetação mais abundante). Na opinião de Krüger (2016), alterações da umidade do ar e do vento também estão associadas à presença de ilha de calor urbana.

O fenômeno ocorre da seguinte forma: à noite, uma brisa urbana, ou seja, um escoamento em direção ao centro urbano. Isso ocorre devido à presença de construções na

cidade, cujo protótipo é a estrutura aérea conhecida por cânions urbanos. O efeito da geometria do cânion urbano é alterar o albedo urbano como um todo de forma a aumentar a absorção de radiação solar visível, com conseqüente aumento da temperatura. Como resultado, tem-se um decréscimo da perda de radiação infravermelha pelos cânions urbanos (cavidades) associada à altura dos prédios e à redução da largura das vias (NAKATA; SOUZA; RODRIGUES, 2014; SENA; FRANÇA; PERES, 2014).

Nóbrega, Santos e Moreira (2016) ressaltam que entre as causas deste problema estão: a elevada capacidade de absorção de calor de superfícies urbanas como o asfalto, paredes de tijolo ou concreto, telhas de barro e de amianto; falta de áreas revestidas de vegetação, prejudicando o albedo, o poder refletor de determinada superfície (quanto maior a vegetação, maior é o poder refletor) e logo levando a uma maior absorção de calor; impermeabilização dos solos pelo calçamento e desvio da água por bueiros e galerias, o que rediz o processo de evaporação, assim não usando o calor e sim absorvendo.

Para Honorato e Andrade (2016), a concentração de edifícios que interfere na circulação dos ventos; poluição atmosférica que retém a radiação do calor, causando o aquecimento da atmosfera (Efeito Estufa). Romero (2013) destaca em sua pesquisa que utilização de energia pelos veículos de combustão interna, pelas residências e pelas indústrias, aumentam o aquecimento da atmosfera, além do uso de materiais muito absorvedores da radiação solar (de baixa refletividade) que permitem maior acumulação de calor durante o dia devido as propriedades de absorção pelos materiais utilizados na construção da cidade (ou urbanização) e sua emissão durante o período noturno.

Há balanços de energia e água particulares sobre as áreas urbanizadas que diferem dos respectivos balanços sobre paisagens naturais ou pouco modificados (SEO; LICCO; RIBEIRO, 2014). Segundo Ganem e Oliveira (2016), devido a esses fatores, o ar atmosférico na cidade é mais quente que nas áreas que circundam a cidade.

O nome ilha de calor dá-se pelo fato de uma cidade apresentar em seu centro uma taxa de calor muito alta, enquanto em suas redondezas a taxa de calor é normal. Ou seja, o poder refletor de calor de suas redondezas é muito maior do que no centro dessa cidade (GARTLAND, 2010). De acordo com Lombardo (1985), os efeitos da poluição do ar também podem ser associados à formação das ilhas de calor urbanas. Uma série de reações químicas e fotoquímicas podem ocorrer em ambiente urbano poluído (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003).

Notavelmente, as reações fotoquímicas associadas à química dos sulfatos e nitratos envolvendo a radiação ultravioleta solar está associada à formação do ozônio, um gás

altamente reativo e tóxico. O aumento da irradiância de onda longa da atmosfera em direção às superfícies urbanas associada ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa sobre as cidades (CO₂, metano) modifica o balanço de energia (radiação e fluxos de calor) da superfície e da atmosfera (COSTA; PERES; SILVA, 2010; GARTLAND, 2010; ROMERO, 2013).

2.3 Clima urbano local – região metropolitana de Belém do Pará

A área de estudo é a região metropolitana de Belém. Nas últimas décadas ela tem tido um grande crescimento urbano, especialmente a verticalização e crescimento horizontal desassistida, onde as superfícies naturais são rapidamente substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais sem o menor estudo de viabilidade ambiental, sendo feito a supressão da cobertura vegetal sem os devidos planos de manejo adequado, o que acarreta em danos ambientais gravíssimos tanto no âmbito da fauna quanto da flora (COSTA, 2011).

Alguns estudos como o de Leão et al. (2008), realizados nesta região afirmam que a floresta urbana reduziu de 33% em 2001, para 31% em 2006, ou seja em apenas cinco anos houve uma redução de 2% da vegetação na região metropolitana de Belém do Pará, e a população duplicou em apenas três décadas indo de 600.000 para 2.040.843 habitantes (IBGE, 2010).

Essa região como várias metrópoles apresentam inúmeros problemas oriundos do crescimento urbano desordenado. Em dados mais abrangentes, em 1991, essa região composta por seis municípios apresentava cerca de um milhão de habitantes, já no ano de 2014 estima-se uma população de mais de 2.040.843 habitantes, tendo um elevado crescimento urbano e sendo o maior centro urbano e aglomerado demográfico de toda a região amazônica nas três últimas décadas (IBGE, 2010; 2014).

Por isso é importante entender que este crescimento urbano é um dos principais fatores contribuintes para alterações no clima urbano da região metropolitana de Belém, sendo evidente a importância do desenvolvimento de pesquisas, com a finalidade de proporcionar o melhor entendimento do avanço da formação de ilhas de calor e o comportamento do clima urbano dessa região para oferecer maior subsídios à projetos de urbanização que otimizem o espaço físico sem grandes agressões ao meio ambiente e sem mais supressão vegetal desordenada (COSTA, 2011).

Dessa forma alguns autores como, Costa (2013), Nascimento (1991) e Silva Júnior et al. (2012) estudaram a variação e o comportamento da temperatura através de medições em

dias estratégicos como os chuvosos e os menos chuvosos, bem como em áreas específicas como vegetadas e não vegetadas visando verificar se há oscilações, com base em tais estudos os mesmo detectaram que a temperatura foi menos em áreas mais arborizadas quando relacionadas a áreas desmatadas e com elevado índices de construções civis e aglomerado urbano que apresentam maior temperatura.

Com base no desmatamento Paranaguá et al. (2007) avaliou que em regiões continentais da região metropolitana de Belém a supressão vegetal é maior do que em regiões insular, a primeira apresenta um percentual de 87,5% enquanto que a segunda expõem aproximadamente 32,6% de desmatamento, isto se dar devido ao elevado crescimento urbano desordenado sem planejamento prévio do uso do solo e da cobertura vegetal.

Trabalhos recentes têm sido desenvolvidos acerca do aumento da temperatura no município de Belém, como Monteiro (2015) que estudou a variação horaria da temperatura do ar do ponto de orvalho na região que pertence o aeroporto internacional de Val de Cans localizado no município de Belém, compreendendo o comportamento da variação da temperatura, o conforto térmico e avaliando a cobertura vegetal e a influência que esta apresenta na variação da temperatura, pontualmente na região de Val de Cans, conforme o crescimento demográfico de 11 bairros e a presença do aeroporto internacional.

Outro estudo avaliou espacialmente os efeitos térmicos pontualmente no município de Belém do Pará e seus bairros utilizando de dados observacionais das estações meteorológicas e imagens do satélite MODIS. Este estudo é estendido pelo presente trabalho tanto no âmbito da resolução espacial de MODIS 250m para LANDSAT 30m, quanto temporal iniciando no ano de 1984, além de abordar procedimento metodológico e escala de abrangência distinta do estudo primeiro estudo (CORRÊA, 2011).

Sendo assim, o presente estudo se propõe avaliar o comportamento da temperatura superficial da região metropolitana de Belém do Pará, a qual abrange 7 municípios sendo eles Castanhal, Marituba, Ananindeua, Santa Barbara, Santa Izabel do Pará, Benevides e Belém, ao longo de 30 anos, relacionando a variável temperatura superficial com o crescimento urbano desordenado, o uso e cobertura do solo e ainda com o desmatamento, tendo área de abrangência e escala maior do que os estudos de Monteiro (2015), Costa (1998) e metodologia distinta de Corrêa (2011), enfatiza-se que tais estudos são de fundamental importância para a compreensão previa do comportamento da temperatura superficial e das metodologia desenvolvida no presente estudo, haja vista que Corrêa (2011) apresentou um estudo com um satélite de resolução espectral e espacial diferente como o MODIS distinto do LANDSAT.

2.4 Sensoriamento remoto e os estudos da temperatura superficial

Neste contexto o sensoriamento remoto, vem se mostrando uma ferramenta indispensável na obtenção de dados que permitem expandir os estudos de diversas variáveis climatológicas, como é o caso da temperatura da superfície (ROSA, 2008; NASCIMENTO et al 2012).

Esta ferramenta pode ser compreendida como “a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo” (ROSA, 2001, p.1), haja vista que diferentes objetos refletem/emitem diferentes quantidades de energia, em comprimentos de ondas distintos, que são registradas pelos sensores remotos na forma de valores radiométricos associados a cada pixel da imagem.

Conforme Silva (2001), a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

A informação de interesse é caracterizada em função das propriedades dos objetos ou padrões que compõem a imagem. Portanto, extrair informação de imagens envolve o reconhecimento de objetos ou padrões. A maior parte dessa atividade requer grande capacidade de cognição por parte do intérprete, devido à complexidade dos processos envolvidos e à falta de algoritmos computacionais precisos o bastante para realizá-lo de forma automática (JENSEN; EPIPHANIO, 2009).

No caso de detecção de temperatura, utilizam-se sensores que medem a radiação no chamado infravermelho termal, região do espectro eletromagnético entre 8 μ m a 14 μ m, é uma lei básica da física termal que todo corpo emite radiação eletromagnética devido a sua temperatura, desta forma é possível estimar remotamente a temperatura de um corpo através da radiação térmica observada do mesmo. No caso das temperaturas usuais da terra (200K e 350 K), essa radiação ocorre exatamente nesta faixa do infravermelho termal. Alguns sensores remotos apresentam a capacidade de detectar a radiação em ondas longas emitida nesta faixa, detectando a radiação emitida pelos alvos, cujos valores variam em função de sua temperatura (STEINKE; STEINKE; SAITO, 2004).

A relação entre temperatura e radiação térmica é dada pela lei de Planck da radiação do corpo negro, possibilitando assim relacionar a radiação emitida por um corpo em um dado comprimento de onda com a temperatura do mesmo (LOMBARDO, 2003, p. 1742), a radiação obtida através do detector é então representada numa imagem real como valores em níveis de cinza que são diretamente relacionados com os valores de temperatura aparente, (ROSA, 2008).

Segundo Jensen (2009), os primeiros estudos dedicados especificamente ao levantamento de valores de temperatura da superfície em escala regional e local valeram-se de satélites de baixa resolução espacial, como os da família NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (sensor AVHRR, com 1km de resolução espacial), utilizados, por exemplo, nos trabalhos de Lombardo (1985), Paiva (2005) e Gusso, Fontana e Gonçalves (2007).

Para o estudo de ilhas de calor são utilizados instrumentos de média e alta resolução espacial (IDEIÃO et. al, 2008), aqui utilizaremos os sensores TM e ETM dos satélites Landsat 5, 7 e 8 respectivamente, cujas imagens do infravermelho termal tem análise semi detalhada do comportamento da temperatura superficial podendo ser aplicado ao estudo do clima urbano.

Por possuírem acurada resolução radiométrica e espectral (SANO; FERREIRA JUNIOR, 2005), esses sensores geram imagens de muito boa qualidade, com a vantagem de apresentar ampla disponibilidade de acesso (são disponíveis gratuitamente no acervo de imagens do INPE ou no site da USGS), grande amplitude espacial e registro temporal constante. Esses fatores têm justificado o emprego majoritário das imagens Landsat em estudos de ilhas de calor (NASCIMENTO, 2012).

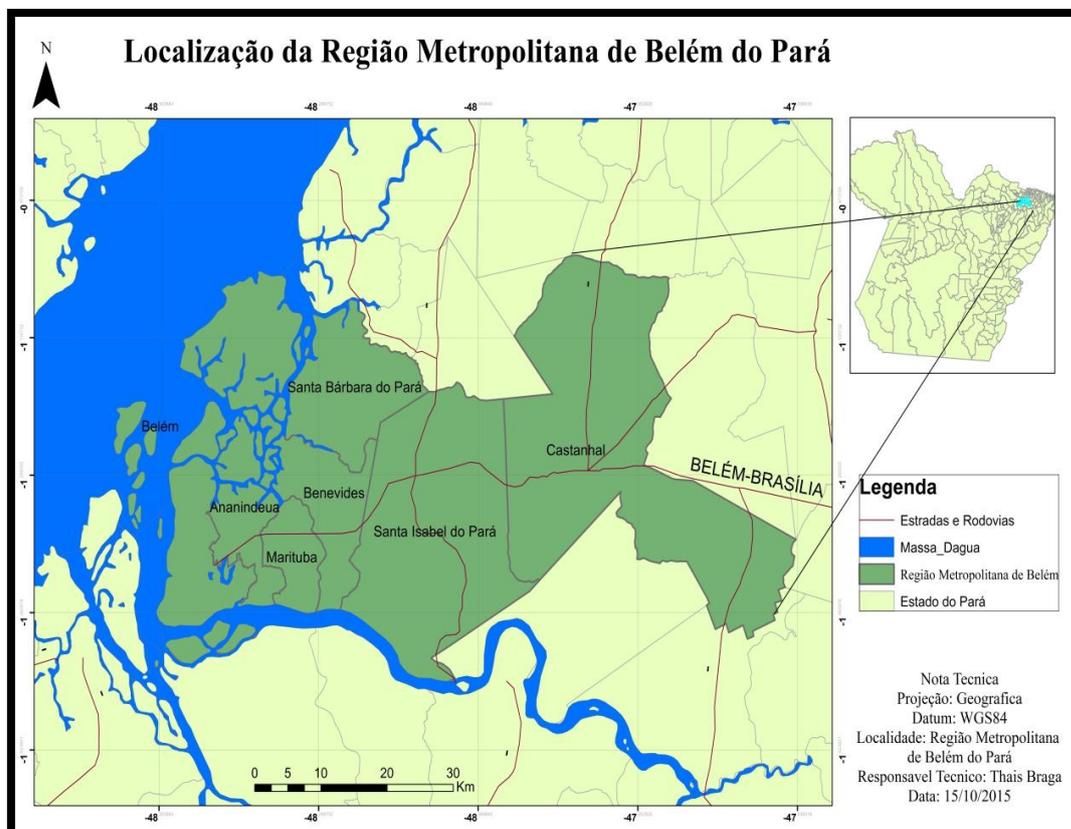
3 MATERIAL E METODOS

3.1 Área de estudo

A região metropolitana da cidade de Belém do Pará está situada às margens do Rio Guamá e Baía do Guajará, abrangendo os de Ananindeua, Belém, Marituba, Benevides, Santa Isabel do Pará, Santa Bárbara do Pará e Castanhal. A região metropolitana da cidade de Belém-PA está situada às margens do Rio Guamá e Baía do Guajará, abrangendo os de Ananindeua, Belém, Marituba, Benevides, Santa Isabel do Pará, Santa Bárbara do Pará e Castanhal (Figura 1).

Quanto às características de relevo, a região apresenta uma topografia praticamente plana, sendo que aproximadamente 60% de suas terras encontram-se abaixo da cota de 4,0 metros acima do nível do mar, possuindo altitude de 10 metros em relação ao mar. Na parte de terra firme, predomina o latossolo amarelo, com algumas manchas de podzois hidromórficos, areias e concrecionário laterítico (IBGE, 2013).

Figura 1- Mapa de Localização referente à Região Metropolitana de Belém do Pará.



Fonte: Do autor.

3.2 Atributos climáticos da região metropolitana de Belém

O clima que região Metropolitana de Belém do Pará - RMB é caracterizada como equatorial com baixas latitudes semelhantes ao apresentado na região equatorial da Amazônia, apresenta umidade relativa do ar elevada, com média anual de 90%, e temperaturas com média anual em torno de 26°C. O clima predominante na região de Belém é o quente e úmido, característico das Florestas Tropicais (IBGE, 2010).

A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a absorção da radiação solar pela superfície. Dentre os fatores responsáveis pelas variações térmicas de um local, merecem destaque, o tipo de superfície, a cor, o conteúdo de umidade, a inclinação, a latitude, o dia do ano e a hora do dia. Segundo alguns autores por estar localizada na Região Equatorial, a área de estudo apresenta uma pequena variabilidade anual na sua temperatura média, sendo que o máximo valor ocorre em outubro e o mínimo em março, com 27,9°C e 25,7°C, respectivamente. Como se observa, a amplitude térmica média anual é de apenas 2,2°C. A média anual é de 26,5°C. As menores temperaturas médias são verificadas nos meses de fevereiro, março e abril, que correspondem aos meses de maior nebulosidade e precipitação pluviométrica, o que contribui para o menor aquecimento da superfície, (COSTA, 2011).

3.3 Obtenção dos dados

Foram utilizadas quatro imagens do satélite Landsat, sendo três do Landsat 5, e uma do Landsat 8, nas datas 07/1984, 08/1995, 07/2004, 10/2015. Tais imagens foram adquiridas no catálogo de imagens da Science for a Changing World – USGS (2015). Os limites municipais, a hidrografia e todos os arquivos vetoriais foram obtidos da base do IBGE no formato *shapefile* (IBGE, 2013).

Os mapeamentos e processamento de todos os dados vetoriais e matriciais foram realizados no SIG ArcGIS 10.1, iniciando-se com a criação de um projeto e a adição dos planos de informações abrangendo a área de estudo, no sistema de projeção UTM, Datum WGS84, Zona 22 Sul com todo o mapeamento produzido seguindo a padronização, segundo propostas de Lo e Yeung (2008) e Fitz (2008).

3.4 Processamento digital das imagens

Todas as cenas foram submetidas ao processo de pré-processamento que incluiu o georreferenciamento, correções geométricas e atmosféricas. O processamento das imagens de satélites foram efetuados no software de processamento digital de imagens Envi 5.2 e a edição dos mapas foram feitas no software ArcGis 10.1.

3.4.1 Classificação das imagens e mapeamento de uso e cobertura do solo

Visando analisar as alterações ocorridas na cobertura vegetal e uso do solo na região metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015, procedeu-se a classificação supervisionada das imagens por meio do algoritmo de máxima verossimilhança.

Desta forma, foram definidas sete classes tais como água, vegetação densa, solo exposto, vegetação secundária, vegetação rasteira, nuvem e sombra.

Diante disso, foi possível verificar o comportamento das ações antrópicas na região metropolitana de Belém ao longo do tempo e relacionar o uso do solo com o comportamento da temperatura superficial. Essa relação foi efetuada a partir das observações das mudanças de uso da terra, através do uso das imagens de satélite, bem como das coletas *in loco*, permitindo que o ambiente de sistema de informação geográfica – SIG apresente às alterações existentes.

As amostras de treinamento foram selecionados através da interpretação visual das imagens LandSat TM, apoiadas pelo conhecimento das áreas em campo.. As matrizes de erro serão calculadas pelo cruzamento de polígonos de validação com resultados da classificação supervisionada, sendo em seguida calculada a exatidão geral e a estatística do índice Kappa, visando alcançar o maior parâmetro de exatidão do processo de classificação serão permitidos os valores de kappa em torno de 98,5 em todas as cenas classificadas.

3.4.2 Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada

Visando calcular os índices de vegetação para as classes componentes da paisagem da área de estudo, calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), conforme apresentado na equação 1.

$$NDVI = \frac{\rho_{ir} - \rho_r}{\rho_{ir} + \rho_r} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

ρ_{ir} representa a refletância no infravermelho próximo (*infrared*), referente a Bandas 4 no Landsat 5 ou a Banda 5 no Landsat 8, sendo sensível na região de $0,76\mu\text{m} - 0,79\mu\text{m}$.

ρ_r representa a reflectancia no vermelho (red) obtida da Banda 3 do Landsat 5 ou da Banda 4 do Landsat 8, sendo sensível na região de $0,63\mu\text{m} - 0,69\mu\text{m}$.

O NDVI apresenta uma variação entre -1 e +1. Em superfícies com vegetação verde, os valores variam entre 0 e 1, já para a água e nuvens os valores geralmente são menores que zero, e que para valores de NDVI menores que 0,3 já encontra-se em áreas com características desérticas (LIMA et al., 2011; SOUZA; FERREIRA JUNIOR, 2012).

As bandas do infravermelho próximo e vermelho são as utilizadas para o NDVI, pois a refletância no infravermelho da clorofila em uma folha saudável é maior do que a vermelha. Já uma folha morta não apresenta a clorofila e sua refletância no vermelho é maior (SOUZA; FERREIRA JUNIOR, 2012).

O NDVI apresenta uma variação entre -1 e +1. Em superfícies com vegetação verde, os valores variam entre 0 e 1, já para a água e nuvens os valores geralmente são menores que zero, e que para valores de NDVI menores que 0,3 já encontra-se uma área com características bem desérticas (SOUZA E FERREIRA JUNIOR, 2012); (LIMA, et al 2011). Observa-se que para uma grande gama de vegetação, temos o NDVI variando entre 0,16 para vegetação rasteira, até 0,73 para vegetação densa. (VAN DE GRIEND ; OWE, 1993; VOOGT; OKE, 2003).

3.4.3 Geração de imagens da temperatura superficial

Inicialmente, os valores dos “números digitais” (DN) registrados na Banda do infravermelho termal dos satélites LandSat 5 e 8 foram convertidos para radiância termal L_λ , utilizando-se a equação 2:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

L_λ - Radiância Espectral do sensor de abertura em $\text{W}/(\text{m}^2 \mu\text{m})$

M_L - fator multiplicativo de redimensionamento da Banda10, que assume o valor $3.3420\text{E}-04$

A_L - fator de redimensionamento aditivo específico da Banda 10, 0.10000.

Q_{cal} - valor quantizado calibrado pelo pixel em “números digitais” (DN) da imagem da Banda 10.

Esses elementos e os valores da fórmula de conversão para radiância, foram extraídos do metadados da imagem landsat-8 da Banda 10 tal metodologia foi baseada nos estudos de (Coelho, 2013). Esta radiância termal foi então convertida para temperatura, em Kelvin, utilizando a equação 3:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde T é a temperatura efetiva observada pelo satélite, K_1 e K_2 são constantes de calibração, cujos valores são respectivamente 774,89K e 1321,08K, e L_λ é a radiância espectral observada em $W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ calculada da Eq. (2). Tais elementos, bem como os valores da constante de calibração foram todos extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10. Estas operações foram implementadas no programa ArcGis utilizando a sua “calculadora raster” com a fórmula: $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{“banda6.tif”} + 0.10000) + 1)) - 273.15$, onde “banda6.tif” é a imagem do Landsat a ser utilizada. Por fim criaram-se os mapas de classificação da temperatura superficial observadas, visando auxiliar na correlação e na interpretação dos dados.

3.5 Análise estatística dos dados

Na mensuração das frequências absolutas e relativas, a análise quantitativa utilizada nesta pesquisa objetiva dar tratamento estatístico aos dados, com o propósito de identificar tendências, aderências e associações entre as variáveis em estudo (AYRES, 2015).

O tratamento estatístico busca identificar, por meio das frequências absolutas, se os dados convergem para algum diferencial em especial ou se há tendência ou não nos dados, usando para tal, no primeiro momento a estatística descritiva dos dados com base em frequências absolutas e relativas, e em seguida a aplicação de testes estatísticos.

Neste estudo utilizou-se o teste não paramétrico Qui-quadrado de Pearson para tendência/aderência, simbolizado por χ^2 , é um teste de hipóteses que se destina a verificar se há tendência ou não na distribuição de variáveis nominais e ordinais (AYRES et al., 2015), adotando-se um nível de significância de p-valor < 0.05 .

O princípio básico deste método é comparar proporções, isto é, as possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para certo evento. Evidentemente,

pode-se dizer que dois grupos se comportam de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas em cada categoria forem muito pequenas, próximas à zero. Portanto, o teste qui-quadrado neste estudo foi utilizado para:

- Verificar se a frequência de dados observados em uma questão se desvia significativamente ou não da frequência com que ele é esperado.
- Comparar a distribuição dos dados para diferentes classes de solo, a fim de avaliar se as proporções observadas mostram ou não diferenças significativas ou se as amostras diferem significativamente quanto às proporções dessas escolhas.

Desta forma, os dados coletados foram tabulados, interpretados, processados e analisados por meio da estatística descritiva e inferencial.

O procedimento utilizado para verificar a correlação entre as variáveis foi feito por meio do cálculo da Correlação de *Pearson* entre os escores destas variáveis. A correlação de *Pearson* entre duas variáveis é calculada com o intuito de verificar se existe inter-relacionamento entre essas variáveis.

O modelo de correlação de variáveis permite avaliar a influência negativa ou positiva entre duas variáveis de grandezas distintas ou não. O modelo de correlação de variáveis partes da seguinte premissa: Se duas variáveis podem se movimentar conjuntamente, uma correlação pode ser estabelecida. Se a variável A tende a aumentar quando B cresce, existe uma correlação positiva, isso indica que a elevação de uma variável afeta a outra positivamente. Se a variável A tende a cair quando B aumenta, existe uma correlação negativa, ou seja, uma correlação negativa indica movimentos opostos (SILVA, 1999).

Padronizou-se que tal medida deve estar no intervalo fechado de -1 a 1, em que -1 indica perfeita correlação negativa ou inversa e 1 indica perfeita correlação positiva ou direta. A correlação negativa indica que o crescimento de uma das variáveis implica, em geral, no decréscimo da outra. A correlação positiva indica, em geral, o crescimento ou decréscimo concomitante das duas variáveis consideradas (FIGUEIREDO; SILVA, 2010).

O R^2 fornecido pelo teste é uma medida que serve para mostrar a intensidade da série histórica, e quanto mais próxima de 1, mais intenso é o comportamento da série (AYRES et al., 2015). O valor de r está sempre entre -1 e $+1$; com $r = 0$ o modelo indica que as variáveis não se correlacionam. Usamos o termo correlação positiva quando $r > 0$, e nesse caso à medida que cresce X o mesmo acontece com Y, e correlação negativa quando $r < 0$, e nesse caso à medida que X cresce Y decresce. Quanto maior o valor de r , tanto positivo quanto negativo, mais forte a associação. O coeficiente r varia entre -1 e $+1$, portanto, a correlação

pode ser estabelecida a partir das seguintes situações analíticas, vejamos no quadro 1, (Bussab, 2011).

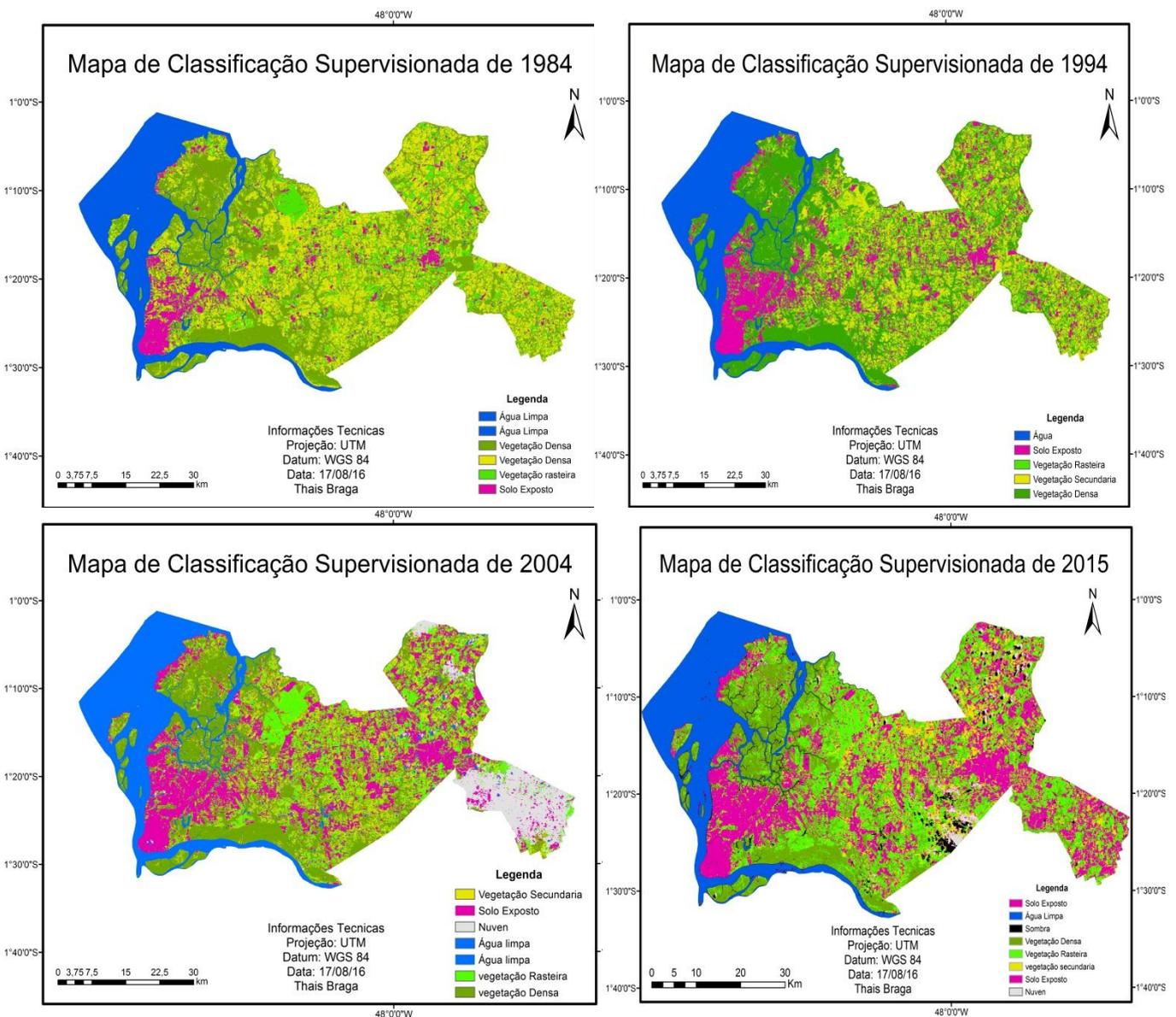
Para a análise estatística dos dados foram utilizados recursos de computação, por meio do processamento no sistema Microsoft *Excel*, *Statistic Package for Social Sciences* (SPSS) versão 22.0, todos em ambiente Windows 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da cobertura vegetal e uso do solo da região metropolitana de belém no período de 1984 a 2015

Através da classificação supervisionada da cobertura vegetal e uso do solo da região metropolitana de Belém do Pará, foi possível identificar sete classes, sendo elas, solo exposto, vegetação densa, vegetação rasteira, vegetação secundária, água, a qual abrange todo o recurso hídrico presente na área de estudo, sombra e nuvem quando presentes nas imagens utilizadas, as quais abrangem os anos de 1984, 1994, 2004 e 2015 analisando por mais de trinta anos o comportamento do uso da terra e da cobertura vegetal (Figura 2).

Figura 2- Mapa de cobertura vegetal e uso do solo da região metropolitana de Belém do Pará – Brasil no período de 1984 a 2015; Fonte: Do autor.



No ano de 1984 a classe que apresentou maior abrangência foi a vegetação densa com 29% da área total da região de estudo, acompanhada da classe de vegetação secundária com 27% e solo exposto com apenas 8% evidenciando que neste ano a degradação ambiental ainda não era extrema (Tabela 1).

Tabela 1- Distribuição das áreas (ha) por classes de cobertura vegetal e uso do solo na região metropolitana de Belém, no período de 1984 a 2015, com os respectivos resultados do teste Qui-quadrado.

Área de Classes	Ano				Média (μ)	P-Valor ⁽¹⁾
	1984	1994	2004	2015		
Vegetação Secundária	(ha) 96.035,88	67.232,28	38.832,57	28.367,92	57.617,16	0.0000*
	% 26,87	18,81	10,87	7,94		
Solo Exposto	(ha) 29.750,72	56.294,74	80.765,65	91.474,25	64.571,34	0.0000*
	% 8,32	15,75	22,60	25,59		
Água	(ha) 63.643,12	63.363,38	63.906,63	69.784,00	65.174,28	0.0000*
	% 17,81	17,73	17,88	19,53		
Vegetação Rasteira	(ha) 63.669,09	52.654,11	56.111,88	31.391,00	50.956,52	0.0000*
	% 17,81	14,73	15,70	8,78		
Vegetação Densa	(ha) 104.305,09	100.765,29	88.161,03	69.338,06	90.642,37	0.0000*
	% 29,18	28,19	24,67	19,40		
Nuvem	(ha) -	107,71	25.665,09	3.747,00	9.839,93	0.0000*
	% -	0,03	7,18	1,05		
Σ Total	357.403,90	340.417,51	353.442,85	294.102,23	-	

⁽¹⁾ Teste Qui-quadrado para tendência ($p < 0.05$).

* As proporções diferem significativamente.

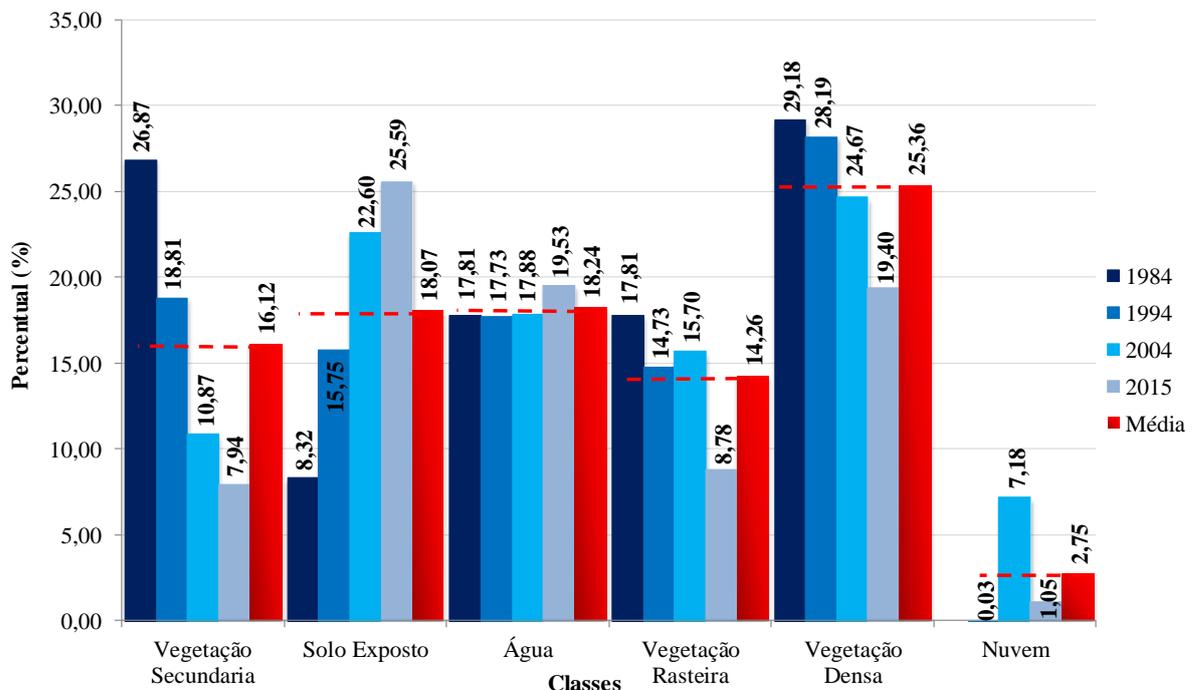
Após uma década, no ano de 1994, observa-se que a classe vegetação secundária reduziu apresentando 20% da área total, esta redução deu-se devido ao avanço da área urbana o que pode claramente ser verificado por meio dos dados da classe de solo exposto que duplicou, sendo neste ano 16% da área total, evidenciando que houve o dobro de extração vegetal secundária (capoeira).

Em seu estudo, Oliveira et al. (2015) realizaram o mapeamento de uso e ocupação da terra, baseada na classificação supervisionada das imagens de satélite, no intuito de identificar espacialmente a utilização das áreas de preservação permanente na área de estudo correspondente a Bacia do Rio Turvo, nos anos de 1985 e 2013 e concluiu que as áreas de cobertura florestal em áreas de preservação permanente (APPs) e no terço superior de morros aumentaram em 1876,68 ha e as áreas ocupadas por pastagem e solo exposto diminuíram, respectivamente, em 1414,21 ha e 473,45 ha, o que representa uma mudança positiva perante a conservação da natureza.

A Resolução CONAMA 10/93 define a vegetação secundária como resultante dos processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes da vegetação primária.

Na Tabela 1, verifica-se que, em todos os anos, a classe mais evidenciada foi vegetação densa com 29,18% da região de estudo em 1984, a vegetação secundária reduziu de 18,81% em 1994, para 10,87% em 2004. A classe de solo exposto continuou crescendo significativamente ao longo dos anos, ultrapassando a vegetação densa em 2015, atingindo 25,59% da área total (Tabela 1 e Figura 3).

Figura 3- Distribuição das áreas das classes de cobertura vegetal e uso do solo na Região Metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.

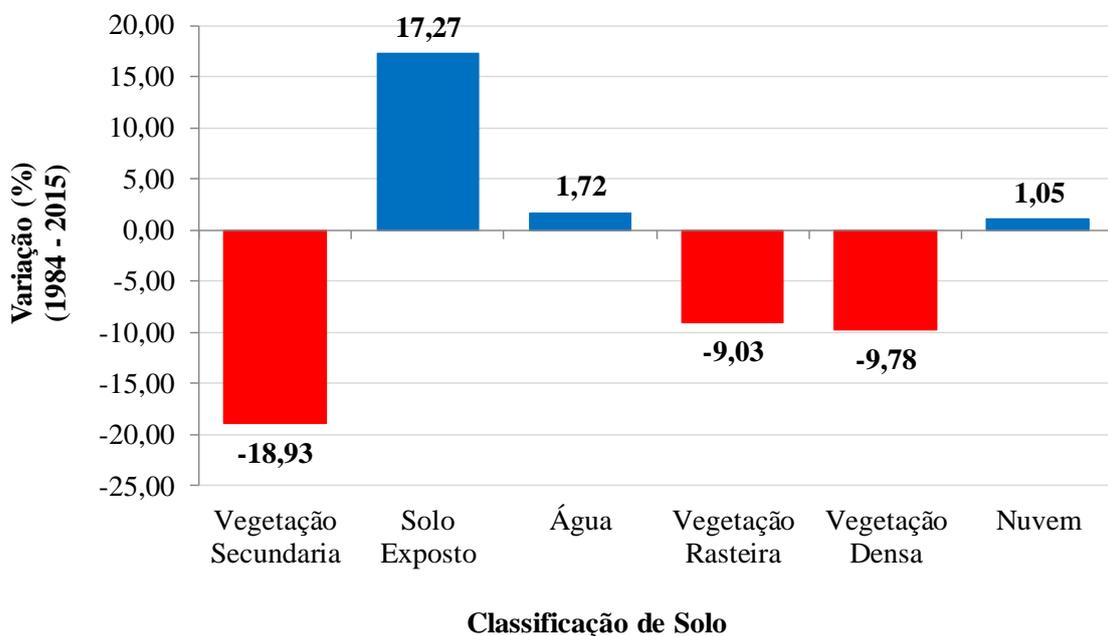


Fonte: Do autor.

Em 2015 a classe com maior área foi a de solo exposto com 25,59%. No período em estudo, observa-se que a vegetação densa reduziu em 9,78%, a vegetação rasteira em 9,03% e a vegetação secundária (capoeira) em 18,93%, conforme observado na Figura 4. Verifica-se na Tabela 1 que, dentre as classes de solo, a vegetação densa apresentou maior valor médio de área ($\mu = 90.642,37\text{ha}$), ressalta-se que durante todo o período estudado (1984 a 2015) esta classe manteve-se com maior frequência, exceto em 2015.

O teste Qui-quadrado de Pearson para tendência foi utilizado (Tabela 1) para verificar se as proporções de áreas das classes de solo diferem significativamente ou não ao longo do período de estudo. Neste sentido, considerando o nível de significância de 0.05, o p-valor < 0.05 indica que as proporções ao longo dos anos, diferem significativamente, de modo que, o percentual de área de vegetação secundária variou entre 26,87% em 1984 e 7,94% em 2015, uma redução significativa, enquanto que o percentual de área de solo exposto aumentou significativamente, passando de 8,32% em 1984 para 25,99% em 2015.

Figura 4: Variação das áreas das classes de cobertura vegetal e uso do solo na Região Metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.



Fonte: Do autor.

Diante deste cenário, cabe ressaltar que o crescimento acelerado da área urbana pode gerar inúmeros prejuízos para a qualidade ambiental, pois é perceptível que a ocupação e uso do solo agravaram o nível de degradação da cobertura vegetal, o que na opinião de Costa e Corrêa (2009) interfere direta e indiretamente na qualidade de vida da população e no desenvolvimento sustentável. As técnicas de sensoriamento remoto têm sido muito utilizadas para conhecer a dinâmica da cobertura do solo, a exemplo dos estudos de Fujaco et al. (2010), Pinagé et al. (2011) e Guidolini et al. (2013).

Os resultados do estudo realizado por Neto et al. (2014), com o objetivo de quantificar as classes de cobertura vegetal e uso do solo no entorno do PEUt na região metropolitana de Belém, nos anos de 1984, 1999 e 2013, foi possível constatar que a vegetação rasteira sofreu redução saindo de 4,95% em 1984 para 1,12% em 2013. Assim como a vegetação densa que

também apresentou redução, visto que em 1984 o percentual era de 12,09%, atingindo 11,22 em 2013, enquanto que a área urbana ampliou-se de 7,01% para 12,2%. De acordo com o autor, estes resultados evidenciam que esta diminuição da vegetação pode ser explicada pelo crescimento desordenado de assentamentos planejados e espontâneos nas últimas décadas ao redor do PEUt. Segundo o autor, as áreas urbanas no entorno do PEUt, que são compostas pelos bairros Marco, Utinga e Souza estão aglomeradas, principalmente, as margens das importantes avenidas Almirante Barroso, João Paulo II e BR-316.

No estudo realizado por Almeida et al. (2014) que tratou sobre a fenômeno conhecido como desertificação, também ocorreu redução na área total nas classes de vegetação esparsa 14% e vegetação densa 4%. A primeira passou 13.340 Km² para 9.280 Km², a segunda de 11.020 Km² para 9.860 Km² que representa a conversão de áreas preservadas para usos múltiplos. Segundo o autor, essas mudanças normalmente provocadas na paisagem estão associadas aos tipos de atividades desenvolvidas na área tais como: agricultura, agropecuária, mineração e práticas de irrigação que resultam em alterações na cobertura vegetal, além dos fenômenos naturais, principalmente os climáticos, que a deixa mais susceptível a se desertificar uma vez que a remoção da cobertura vegetal torna o solo desprotegido aumentando os riscos à erosão.

De acordo com Assis et al. (2015), vegetação densa é uma mata perenifólia, ou seja: sempre verde com dossel de até 50 m, com árvores emergentes de até 40 m de altura e conforme defendem Mascaró, Mascaró e Aguiar (1990, p. 59-72): “a cobertura vegetal, além de ser uma estratégia simples e barata para conter os efeitos da ilha de calor, proporciona ao cidadão a oportunidade de reduzir os custos de refrigeração no seu ambiente urbano, principalmente nas regiões úmidas”.

Na opinião de Grey e Deneke (1978), a vegetação ajuda a evitar alagamentos e a filtrar o ar e os tetos e paredes verdes têm sido amplamente difundidos como parte desta estratégia. Teríamos que quanto mais densa a vegetação, maior a redução da velocidade dos ventos quentes de verão, resultando em temperatura mais amena sob as copas das árvores.

Observa-se que na opinião de Grey e Deneke (1978), a variação entre vegetação densa e secundária é umas das principais interferências da mudança na natureza da superfície do solo e nas propriedades atmosféricas e segundo Alves, Andrade e Nery (2013), essa transformação resulta em mudanças dos ventos regionais, na geometria da radiação solar e da insolação e emissão de poluentes propiciando as temperaturas mais elevadas nas zonas urbanas consolidadas em comparação com as zonas periféricas ou rurais.

As variações térmicas observadas entre as zonas urbanas e rurais podem chegar até 10°C, tendo como causas principais a substituição da vegetação natural pelo excesso de concreto e asfalto, adensamento das edificações e ações antrópicas (LOMBARDO, 1985).

Após tais análises observa-se que, em todos os anos houve elevado crescimento da área urbana representada pela classe solo exposto, migrando de 8,32% em 1984, para 25,59% em 2015 ao longo de aproximadamente trinta anos de estudo. Essa expansão da ocupação do solo é representada principalmente pelas áreas edificadas, assim como o processo de ocupação e expansão da rodovia BR 316.

A expansão urbana da região metropolitana de Belém do Pará vem ocorrendo desde a década de 60, mas foram nas décadas de 80 e 90 que se intensificou a ocupação territorial de forma irregular e desenfreada nesta região, gerando assim o elevado índice de degradação ambiental principalmente no âmbito da vegetação densa e nativa (BORDALO, 2006).

Verifica-se na Tabela 2 e Figura 5 que, a área de vegetação apresentou comportamento decrescente no decorrer dos anos, enquanto que a área de solo exposto o comportamento foi crescente. A água apresentou leve aumento apenas na última década (2004 – 2015). O R^2 é uma medida que serve para mostrar a intensidade da série histórica, e quanto mais próxima de 1, mais intenso é o comportamento da série.

No caso da vegetação, o $R^2 = 0,9946$ (Figura 5), indica forte tendência decrescente no decorrer do período (Figura 5), ou seja, com o passar das 4 (quatro) décadas, a área de vegetação diminuiu significativamente e esta tendência deve se manter, de acordo com a projeção, onde a cada 10 anos acrescidos, há uma diminuição de 439.192ha de área de vegetação. A área de solo apresentou aumento significativo, de intensidade forte ($R^2 = 0,9693$).

Tabela 2: Distribuição e projeção das áreas das classes de vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2035.

Classes	Período				Projeção ⁽¹⁾	
	1984	1994	2004	2015	2025	2035
Vegetação	264.010,06	220.651,68	183.105,40	129.096,98	-439.192,13	-881.482,13
Solo exposto	29.750,72	56.294,74	80.765,60	91.474,25	221.801,00	431.441,00
Água	63.643,12	63.363,38	63.906,60	69.784,00	79.399,00	98.365,00

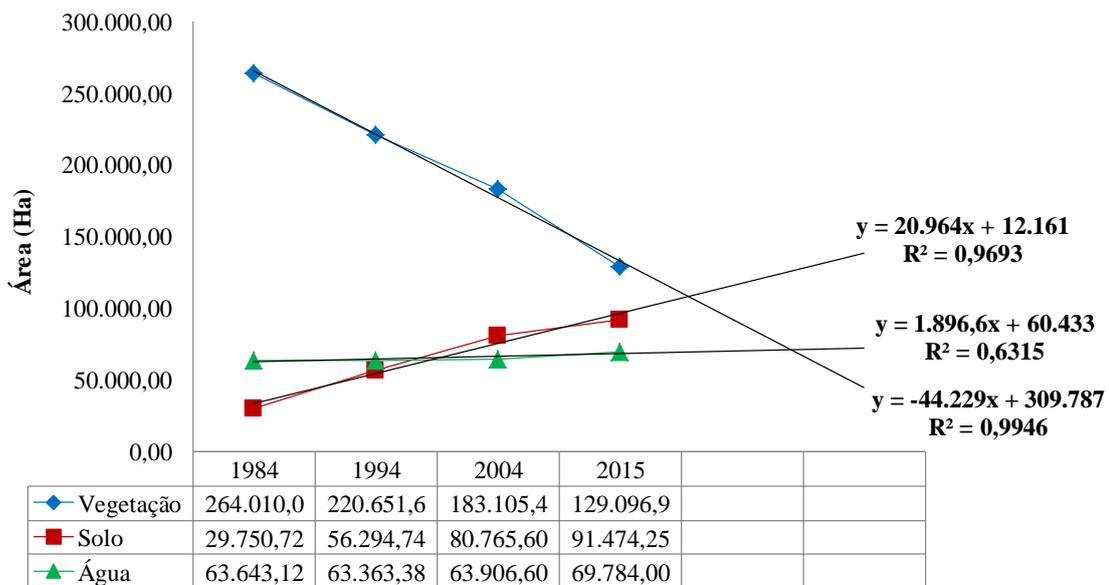
Nota ⁽¹⁾: Calculado com base no intervalo de 10 anos.

De acordo com a projeção, a cada 10 anos acrescidos (Figura 3), esta tendência crescente tende a se manter, com aumento de 221.801ha de área de solo exposto. Com relação à água observa-se que há uma tendência crescente, porém de intensidade moderada ($R^2 =$

0,6315), de modo que a cada 10 anos ocorrerá um aumento de 79.399ha de área composta por água.

Esse resultado obtido revela as mudanças na paisagem da Região Metropolitana de Belém que podem estar afetando diretamente o solo e o ambiente, expondo-os à extrema degradação de sua estrutura, podendo ocasionar erosões, poluição do solo e até o assoreamento dos recursos hídricos entre vários outros desastres, pois é nitidamente verificado, que existe uma relação inversamente proporcional entre vegetação e solo exposto na evolução da paisagem (Figura 4), pois apesar da evolução da composição de água, vem ocorrendo um significativo crescimento da área sem cobertura vegetal em detrimento da diminuição da vegetação, provocando um aumento significativo da área de solo exposto.

Figura 5: Equação de regressão para projeção das áreas de vegetação, solo exposto e água no período de 1984 a 2015.

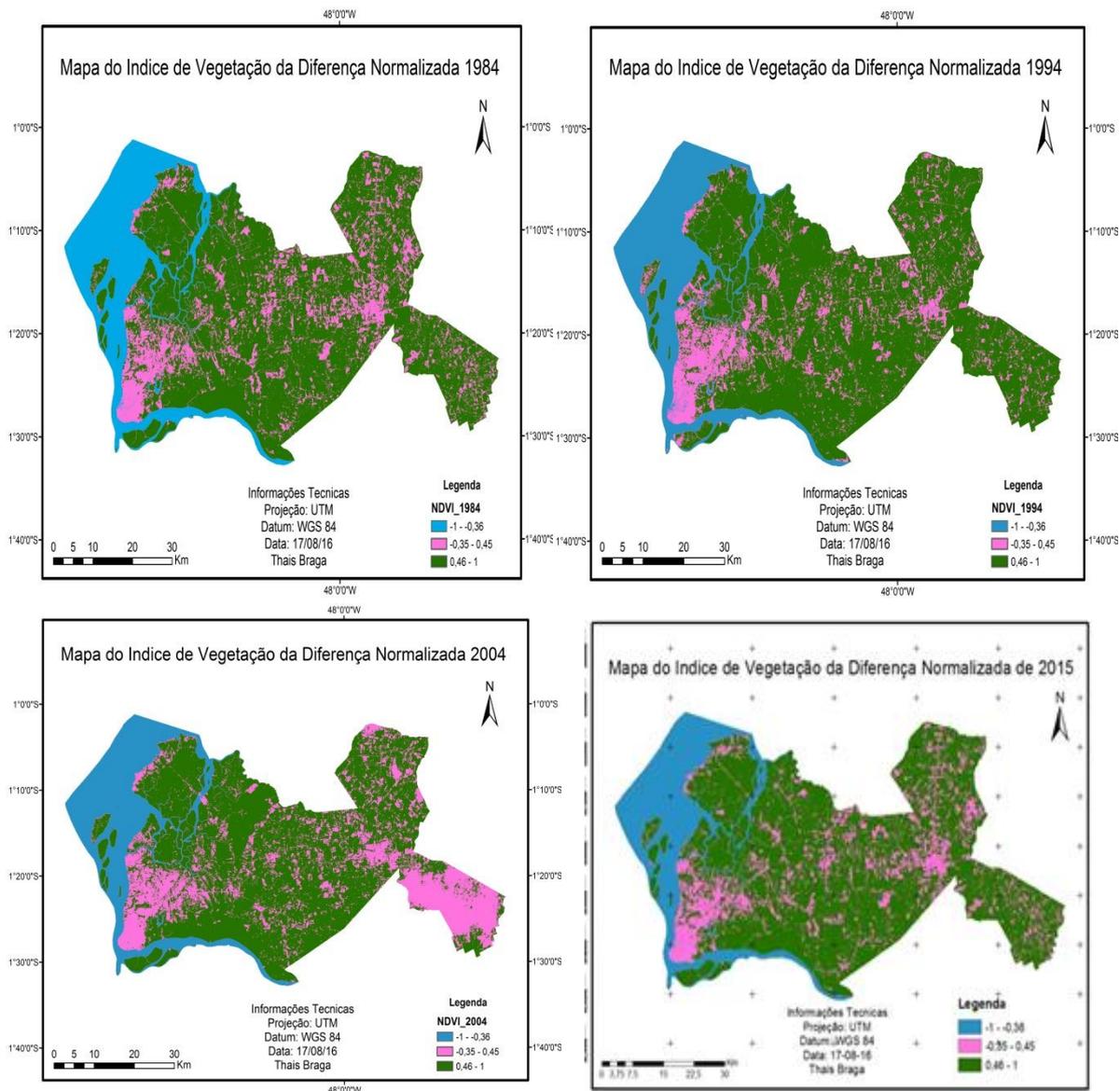


A partir de 2005 a região metropolitana de Belém apresentou elevadas construções civis, pois houve a implantação de Investimentos do governo federal para subsidiar habitação às famílias de baixa renda, cinco anos depois em 2010 houve a expansão da Avenida Independência proveniente do projeto ação metrópole, em 2011 iniciou-se a implantação do projeto BRT ao longo da Avenida Almirante Barroso, visando promover a maior mobilidade urbana da população, sucessivamente em julho de 2012 iniciaram as obras do quarto shopping dessa região o empreendimento Bosque Grão-Pará, tais projetos, na opinião de Gomes (2012) interferiram de forma direta e indireta no uso do solo, principalmente no âmbito da habitação populacional e no aumento da área urbana, evidenciando o elevado nível de solo exposto no ano de 2015.

4.2 Análise do índice de vegetação da diferença normalizada e sua correlação com a temperatura superficial média anual na região metropolitana de Belém no período de 1984 a 2015.

Através do mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada da região metropolitana de Belém do período de 1984 a 2015 (Figura 6), foi possível verificar que o intervalo permeou pelos valores de -1 a -0,36 no âmbito dos recursos hídricos, -0,35 a 0,45 para áreas com ausência de vegetação, sendo representadas por construções civis, áreas pavimentadas, dentre outras, e o intervalo de 0,46 a 1 englobando a área com alta, média e baixa densidade de vegetação, sendo possível verificar o comportamento da área de solo exposto com relação às áreas vegetadas sejam elas com floresta densa, capoeira ou ainda vegetação rasteira.

Figura 6: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da região metropolitana de Belém do Pará – Brasil no período de 1984 a 2015. Fonte: Do autor.



Através do mapeamento é possível verificar que na região central do município de Belém, a qual se localiza próximo a Bahia do Guajará, especificamente na porção meridional, houve significativa modificação da paisagem, evidenciando que no ano de 1984 obtinha aproximadamente 74 % da cobertura vegetal, integralizando todas as densidades de vegetação (densa, rasteira e capoeira), conforme apresentado na Tabela 3, havendo a redução em 2015 para 8%, isto é proveniente do processo histórico de habitação, pois é esta área que abrange o centro histórico/comercial, a zona residencial, além do contínuo fluxo de transportes e locomoção, onde, segundo Corrêa (2011), vive 57% da população do município, Após trinta e um anos de análises percebe-se que a vegetação regride e a área com ausência de vegetação cresce em mais de 50%.

Tabela 3: Área (ha e %) das classes de vegetação, solo exposto e água, com os valores de NDVI e a temperatura média anual no período de 1984 a 2015.

Ano	1984	1994	2004	2015
Vegetação (%)	264.010,00 74%	220.651,60 65%	183.105,40 56%	129.096,90 44%
Solo exposto (%)	29.750,70 8%	56.294,70 16%	80.765,60 19%	91.474,20 32%
Água (%)	63.643,10 18%	63.363,30 19%	63.906,60 25%	69.784,00 24%
NDVI	0,46 a 1	-0,35 a 0,45	-1 a -0,36	-
Temp. (μ)	20,92	22,21	26,75	28,34

Fonte: Dados resultantes da pesquisa (2016).

Em 1984 (Figura 6) o índice NDVI variou no intervalo de 0,46 a 1 para uma área de cobertura vegetal de 74%, enquanto que em 2004 o índice NDVI variou no intervalo de -1 a -0,36, para 44% de vegetação, ou seja, considerando que o índice NDVI varia de -1 a 1, onde os valores próximos de -1 caracterizam alvos com inexistência de biomassa verde e os valores próximos a 1 indicaram alto grau de biomassa verde, percebe-se que a medida em que ocorreu a diminuição da área de vegetação, ocorreu também a diminuição da biomassa verde na região.

Com base nas cartas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Figura 6) e nas classes obtidas com a análise dessas cartas é possível perceber que em 1984 a área de vegetação representava 264.010 Km² (74%) da área total da região Metropolitana de Belém, porém em 2015, passa a compor 129.096,90 Km² (44%), obtendo uma perda de 30% da vegetação em trinta anos de ocupação da área. Por outro lado, as áreas sem cobertura vegetal e portanto compreendendo a classe de solo exposto que compunha 8% do território estudado

em 1984, passa a ocupar 32% da área em 2015, um aumento de 24%, evidenciando que a urbanização da área traz como consequência a falta de proteção do solo.

Um dos fatores fundamentais para o aumento da área de solo exposto foi o processo de verticalização e urbanização em alguns bairros da sede municipal tais como: Marco, Umarizal e Reduto. Leão et. al. (2008) verificaram que a floresta urbana reduziu de 33% em 2001, para 31% em 2006, ou seja, em apenas cinco anos houve uma redução de 2% da vegetação na região metropolitana de Belém do Pará, e a população duplicou em apenas três décadas indo de 600.000 para 2.040.843 habitantes (IBGE, 2010).

Verifica-se na Tabela 4 que existe correlação significativa ($p < 0.05$) de tendência negativa entre a área de vegetação e o período de estudo ($R^2 = -0,999$), de modo que com o passar dos anos, a área de vegetação diminuiu significativamente. O valor de R^2 indica que esta correlação ocorre com intensidade forte.

Tabela 4: Matriz de Correlação de Pearson entre o período de análise (1984-2015), NDVI vegetação, NDVI solo, NDVI água e temperatura média anual.

Variável	Período (ano)	Vegetação	Solo	Água
NDVI Vegetação	-0.999 0.001**			
NDVI Solo exposto	0.980 0.020*	-0.970 0.030*		
NDVI Água	0.809 0.191 ^{NS}	-0.833 0.167 ^{NS}	0.676 0.324 ^{NS}	
Temperatura	0.972 0.028*	-0.961 0.039*	0.967 0.033*	0.745 0.255 ^{NS}

** Valores Altamente significativo; *Valores Significativo; ^{NS} Valores Não Significativo

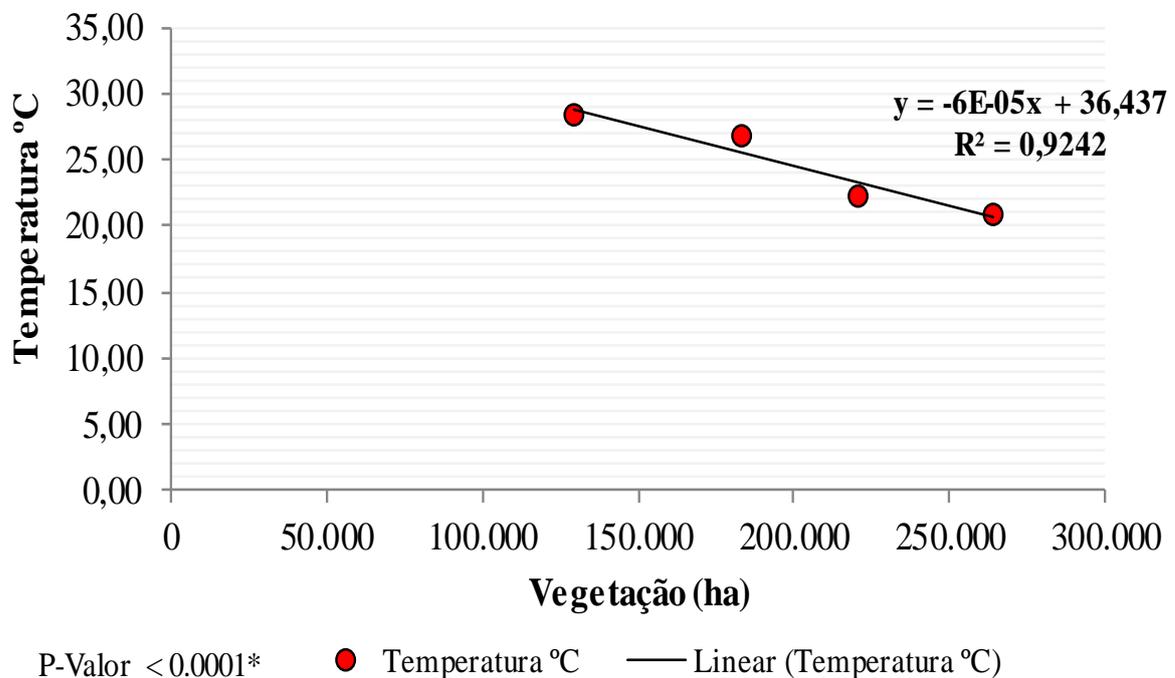
Fonte: Dados resultantes da pesquisa (2016).

Entre solo exposto e o período de estudo, verifica-se que o aumento do solo está diretamente correlacionado com o passar dos anos, de modo que conforme os anos passam, a área de solo exposto tende a aumentar significativamente ($p < 0.05$). O valor de $R^2 = 0,980$ indica que a correlação é do tipo positiva forte. Verifica-se também que com o passar dos anos, a temperatura média aumenta significativamente ($p < 0.05$) com intensidade forte ($R^2 = 0,972$), de modo que à medida que os anos passam, a temperatura aumenta.

Ao verificarmos a correlação existente entre a variável vegetação e solo exposto, observa-se que a correlação é do tipo forte negativa ($R^2 = 0,970$), de modo que à medida que a área de vegetação diminui, a área de solo exposto aumenta significativamente ($p < 0.05$).

A correlação entre vegetação e a temperatura média também se mostrou significativa ($p < 0.05$) e de intensidade forte negativa ($R^2 = 0,961$), pois a medida que a área de vegetação diminui a temperatura média aumenta significativamente (Figura 7). No caso do solo, observa-se que, a medida que a área de solo exposto aumenta, a temperatura também aumenta significativamente ($p < 0.05$), ou seja, existe correlação diretamente proporcional entre solo exposto e temperatura. A correlação entre estas variáveis é do tipo forte positiva ($R^2 = 0,967$) (Figura 8).

Figura 7: Teste de Correlação de Pearson entre área de vegetação, obtida pelo NDVI, e temperatura média anual para o período de 1984 a 2015.

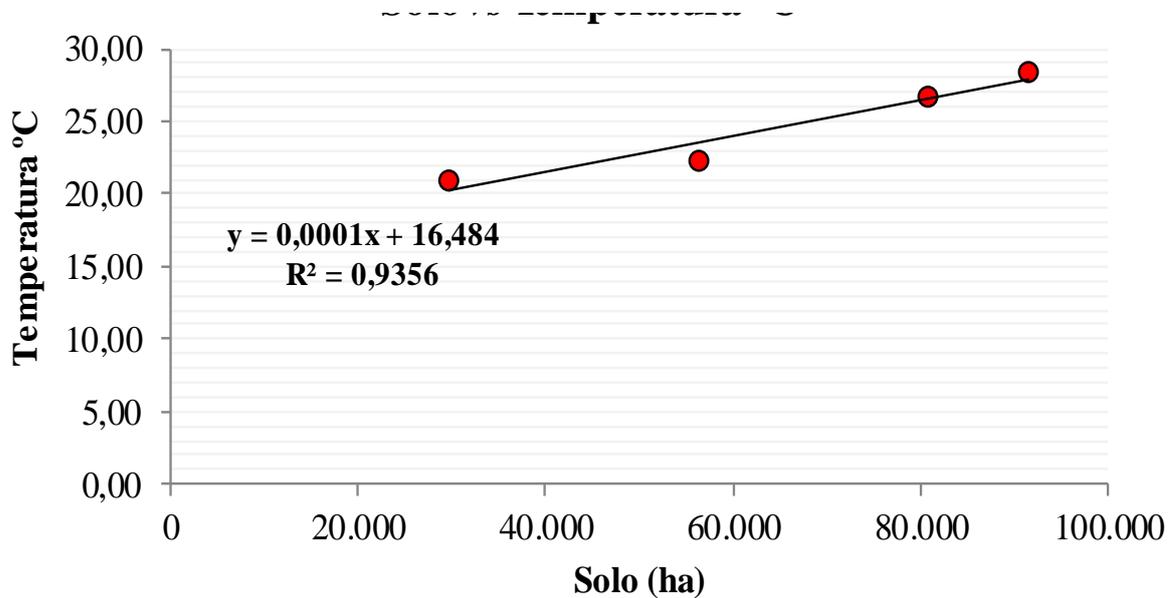


No caso da água, observa-se que, à medida que a área composta por água aumenta, a temperatura também aumenta, ou seja, existe correlação diretamente proporcional positiva entre água e temperatura, ressalta-se que esta correlação ocorre de intensidade moderada ($R^2 = 0,745$) e não é significativa ($p > 0.05$) (Figura 9)

Sabe-se que o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é uma metodologia intensamente utilizada no sensoriamento remoto, no entanto é necessário expor que o mesmo apresenta certas limitações. Segundo Jensen (2009) o índice sofre influência de radiação de trajetória atmosférica, apresenta saturação em relação a altos valores de Índice de Área Foliar (IAF) e tem sensibilidade às mudanças do substrato do dossel, como o solo. Elmore et al. (2000) afirma que outra desvantagem do índice NDVI está no fato deste ser

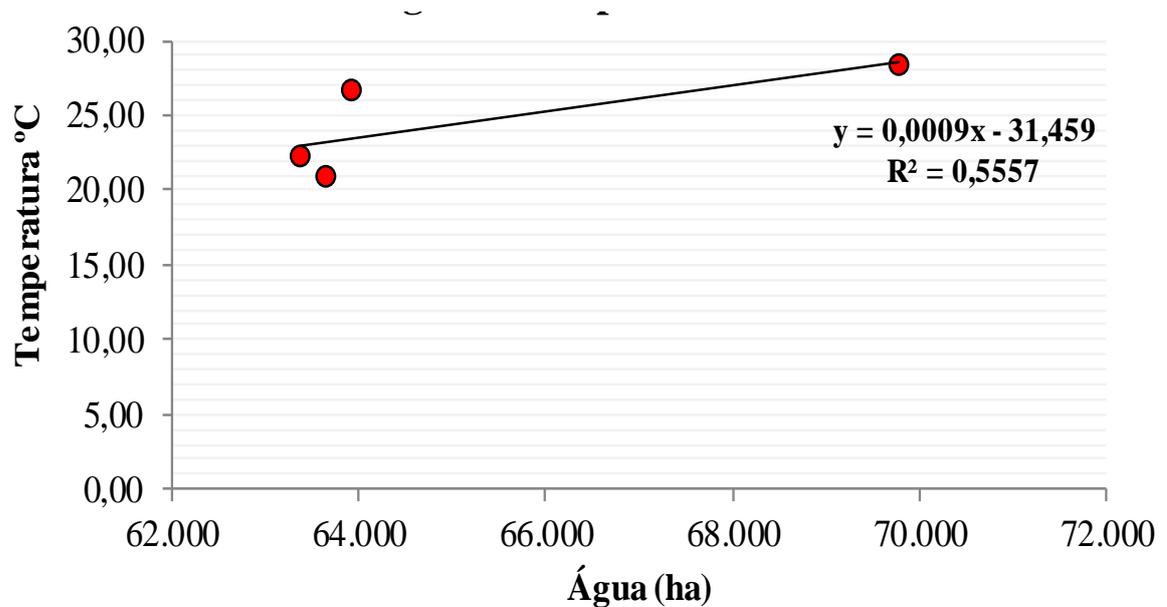
altamente influenciado pelo brilho e efeito espectral do solo, fato que prejudica as avaliações sobre a vegetação.

Figura 8: Teste de Correlação de Pearson entre área de solo exposto, obtida pelo NDVI, e temperatura média, para o período de 1984 a 2015.



P-Valor < 0.0001* ● Temperatura °C — Linear (Temperatura °C)

Figura 9: Teste de Correlação de Pearson entre área de água, obtida pelo NDVI, e temperatura média, para o período de 1984 a 2015.



P-Valor < 0.0001* ● Temperatura °C — Linear (Temperatura °C)

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa e da construção do estudo, observaram-se algumas limitações com relação a metodologia aplicada. O método de classificação a partir de dados do Landsat, apresentou boa acurácia, apesar das limitações inerentes a este quando aplicado em ambiente aquático (imprevisibilidade da localização de classes e fraco sinal de reflectância). Com relação a vegetação os alvos semelhantes, como tipos de vegetação, a diferença no comportamentos espectral de dois ou mais tipos de vegetação pode não ser tão marcante a ponto de ser percebida em imagens de satélites sendo esta outra limitação do Landsat. (MOREIRA, 2012)

Grande parte dos sistemas de sensoriamento remoto disponíveis é voltada a aplicações terrestres (mapeamento geológico, manejo de recursos florestais), oceanográficas (ventos, circulação oceânica, produtividade primária dos oceanos) e meteorológicas; limitações relacionadas à capacitação de recursos humanos para o uso da tecnologia e ao desconhecimento dos limites e da ciência sobre o qual repousam as aplicações.

Com relação aos dados crescentes da classe água detectados ao longo da pesquisa é necessário enfatizar que o uso da tecnologia de sensoriamento remoto nos recursos hídricos ainda é bastante limitado. Tais limitações são provenientes de fatores como o estágio de maturação da tecnologia para estudos de sistemas aquáticos continentais.

Algumas limitações foram observadas no referido estudo com relação ao uso de imagens de satélites Landsat como recurso a estudo de grandes áreas que abrangem recursos hídricos, como citado por Polidório et al. (2006): a perda de dados devido à resolução espacial da imagem e à limitação da resolução espectral do sensor usado no mapeamento; interferências radiométricas adicionadas/subtraídas à imagem pelos efeitos atmosféricos que provocam alterações na radiometria dos alvos; localização e extração de feições de corpos d'água presentes na imagem.

4.3 Temperatura superficial

A região metropolitana de Belém, como várias metrópoles apresentam inúmeros problemas oriundos do crescimento urbano desordenado. Dados de 1991, mostram que essa região, composta por seis município, apresentava cerca de um milhão de habitantes, já no ano de 2014 estima-se uma população de mais de 2.040.843 habitantes, tendo um elevado crescimento urbano e sendo o maior centro urbano e aglomerado demográfico de toda a região amazônica nas três última décadas (IBGE, 2010; 2014).

Com toda a modificação da paisagem, a extração da cobertura vegetal densa, a substituição da vegetação secundária por áreas pavimentadas, o processo de construções civis, o crescimento urbano e o elevado índice demográfico ocorreram a formação de ilhas de calor urbanas, proveniente dos novos alvos da superfície terrestre, aumentando a temperatura superficial da região metropolitana de Belém do Pará (Figura 4), por isso torna-se necessário entender a variável temperatura superficial e a sua relação com o desflorestamento e o uso da terra (WENG, 2004).

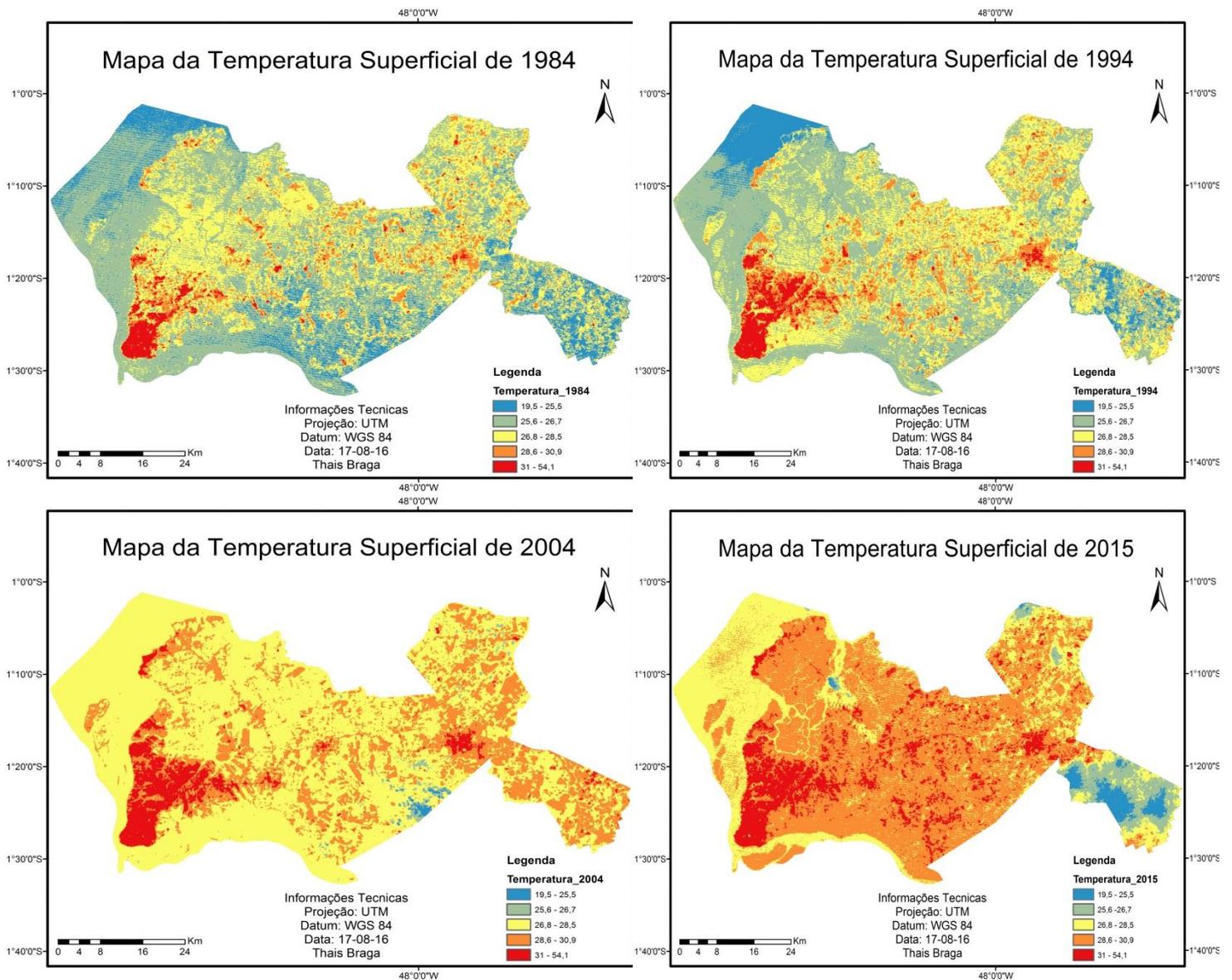
Através da banda 6 do Landsat 5, e banda 10 do Landsat 8 , na faixa do infravermelho termal da imagens analisou-se o comportamento da temperatura de superfície entre a região urbana e suas áreas adjacentes e identificou-se o aumento da temperatura superficial no período de estudo, em 1984 área central do município de Belém que corresponde a região de maior solo exposto apresentava a maior temperatura superficial permeando por 31 a 50°C, ao longo do tempo a área de apresentou tal temperatura aumentou simultaneamente em direção ao crescimento urbano (Figura 10).

Isto corre devido ao aumento da área de solo exposto, proveniente da substituição da vegetação por processos urbanos, originando uma superfície distinta da vegetada, tais como concreto, asfalto, solo descoberto, dentre outros, com valores de refletância diferentes (Figura 10).

Analisando a Figura 10, é possível verificar que as ilhas de calor urbanas representadas em tons vermelhos, apresentam a temperatura de 31 a 54,1 °C, esta cresce junto concomitantemente com o solo exposto. Além disso, é perceptível que à medida que a região urbana cresce, o gradiente térmico também aumenta saindo da temperatura de 26,8 para 31-51,1°C e que em áreas vegetadas, mesmo com vegetação secundária a temperatura superficial minimiza.

Na imagem de 1994 (Figura 10) houve uma discrepância do comportamento da temperatura proveniente do horário de captação da cena às 12h51min. A partir da imagem de 2004 já pode observar o aumento da temperatura ao entorno da BR-316, o aumento da temperatura nas sedes municipais, tais como, Castanhal, Marituba e o centro do município de Belém, bem como Ananindeua. Na cidade de Belém as áreas que apresentam maior temperatura é o centro, especificamente nos bairros do Reduto, Canudos, Fátima, Sacramento e Mangueirão (SANTOS, 2009).

Figura 10: Mapeamento da temperatura superficial da região Metropolitana de Belém do Pará no período de 1984 a 2015.



Fonte: Do autor.

As áreas que estão diretamente relacionado à vegetação são as unidades de conservação presentes no Município de Belém, como o jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves, Costa et al. (2010) verificaram que a vegetação rasteira, bem como secundária também influencia positivamente no equilíbrio da temperatura superficial, haja vista que as folhas e os ramos da vegetação minimizam a quantidade de energia radiante que alcança a superfície, viabilizando através do sombreamento do solo a redução dessa temperatura e promovendo o conforto térmico, devido a arborização, além disso (SANTOS, 2011), enfatiza que maior parte da radiação que chega na superfície vegetada é utilizada como combustível para o processo de fotossíntese das plantas sendo revertida na liberação de oxigênio e a outra parte da energia

não utilizada volta para a atmosfera terrestre, promovendo através do processo de evapotranspiração a emissão de calor latente e não sensível como ocorre em áreas de solo exposto.

Souza e Alvalá (2012) que estudaram a cidade de Manaus e o elevado aumento da temperatura superficial no período de 1990 a 2011 através de imagens de satélites, identificaram que houve um aumento em 2°C da temperatura devido o uso e ocupação do solo, alterando o microclima da cidade, bem como o conforto térmico local e de áreas adjacentes influenciando na qualidade de vida da população.

4.4 Uso do solo, cobertura vegetal, NDVI e temperatura superficial

O crescimento da população urbana é um dos fatores responsáveis pela diminuição da cobertura vegetal das áreas urbanas, o que afeta substancialmente o clima local. portanto, a redução das áreas de vegetação é resultado direto dos modelos de ocupação do solo, da forma de uso utilizada, que na maioria das vezes ocorre em função da disputa por maior aproveitamento do espaço local, porém, segundo Alves, Andrade e Nery (2011) esse modelo precisa ser alterado, e para isso é necessário, além da criação de ferramentas de controle e adaptação de instrumentos de planejamento, levando em consideração as variáveis climáticas, exercer um controle mais rígido sobre o processo de ocupação das áreas verdes, pois a inobservância dessas considerações pode levar à eliminação das últimas reservas verdes do município e à obstrução da ventilação natural, comprometendo o clima da cidade, com a formação de ilhas de calor.

Em seus estudos, Bahia et al. (2011) e Menezes et al. (2013), afirmam que esta supressão da vegetação secundária e o aumento da área de solo exposto ocorrido neste período é proveniente do processo de crescimento urbano desordenado sem nenhum planejamento territorial e que o processo de sucessão secundária também foi significativa nesse período (Figura 2). Sousa et al. (2016) apontou em sua pesquisa que a vegetação secundária presente nas áreas de terra firme apresentaram acentuada diminuição com variação de 12,51% para 4,38%, entre os anos de 2000 e 2010, município de Bacabeira - MA.

A Área de cobertura vegetal, presente no centro urbano do município de Belém do Pará foi oriunda do processo de renovação vegetal e urbanística que a cidade de Belém sofreu no início do século XX, baseado no projeto arborístico, que objetivava oferecer um conforto térmico devido ao clima quente e úmido característico de regiões equatoriais (PONTE, 2009).

Atualmente apenas 19,40% (Tabela 1), correspondem à área de cobertura vegetal densa na Região Metropolitana de Belém, representadas pelas unidades de conservação Bosque Rodrigues Alves e o Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi, e somente 44% (Tabela 3) representa a cobertura vegetal de toda a região metropolitana de Belém incluindo as vegetações de baixa, média e alta densidade no ano de 2015. Ressalta-se que as regiões vegetadas com baixa e média densidade que resistiram ao longo do tempo as modificações da paisagem do município de Belém, localizam-se nas avenidas centrais, apresentando fragmentos vegetais que interligam os bairros de Nazaré, Marco e Batista Campos.

O autor Correa (2013) observou em seu estudo, a relação entre o aumento na temperatura da superfície e o índice NDVI, na região metropolitana de Manaus, ao longo da série 2003 a 2011, e constatou que em todas as regiões analisadas houve um aumento na temperatura da superfície nos últimos anos, ao mesmo tempo, também é observada no índice de vegetação uma diminuição ao longo dos anos avaliados, sugerindo que o aumento de temperatura da superfície na cidade de Manaus está diretamente relacionado com uma diminuição na área verde da cidade. Estes resultados sugerem que os espaços verdes desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis, contribuindo para o arrefecimento da cidade, através do efeito de sombra e da evapotranspiração (CORRÊA, 2013).

Com toda a modificação da paisagem, a extração da cobertura vegetal densa, a substituição da vegetação secundária por áreas pavimentadas, o processo de construções civis, o crescimento urbano e o elevado índice demográfico ocorreram a formação de ilhas de calor urbanas, proveniente dos novos alvos da superfície terrestre, aumentando a temperatura superficial da região metropolitana de Belém do Pará (Figura 4), por isso torna-se necessário entender a variável temperatura superficial e a sua relação com o desflorestamento e o uso da terra (WENG, 2004).

Efetuar essa relação de análise dentre a temperatura superficial, o uso da terra e o comportamento da vegetação é um importante indicador quando se deseja compreender a paisagem do ambiente, a qualidade ambiental de uma região urbana e o comportamento do clima local ao longo do tempo, podendo identificar quais áreas necessitam de maior equilíbrio térmico, pois o sensoriamento remoto através das imagens de satélite e suas especificidades são ferramentas hábeis e fundamentais para efetuar tais estudos com veracidade e segurança (LIMA; AMORIM, 2011).

5 CONCLUSÃO

Com base no principal questionamento deste trabalho, que é: De que forma o crescimento urbano da Região Metropolitana de Belém do Pará está influenciando o aumento da temperatura superficial e o surgimento de Ilha de Calor Urbana ao longo de 40 anos? Verificou-se que a formação de ilhas de calor urbana na Região Metropolitana de Belém foi detectada a partir do mapeamento do gradiente de temperatura superficial nas áreas que apresentaram maior índice supressão vegetal, logo se observou que o aumento da temperatura está diretamente relacionado com o desflorestamento, e que mesmo as vegetações rasteiras (baixa densidade) e secundárias (media densidade) tem influenciado no controle termal da região urbana.

Neste sentido sugere-se que haja a implantação de um projeto de arborização e florístico nos pontos mais críticos da cidade, visando promover não somente a qualidade de vida da população local, mas o conforto térmico e o fluxo de energia também em uma região urbana. Assim, é notória a urgência de monitoramentos ambientais mais específicos no âmbito da variável temperatura, tais como o monitoramento da temperatura do ar acoplado aos dados existentes de temperatura superficial, visando compreender a diferença de índices entre ambas.

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são ferramentas extremamente seguras e viáveis para a compreensão da cobertura vegetal e uso do solo, além da formação de ilhas de calor, viabilizando o monitoramento ambiental ao longo dos anos, para que seja possível sugerir soluções ambientais para problemas atuais como o elevado nível de desmatamento constatado a partir do mapeamento do NDVI, a formação de ilhas de calor e o aumento da temperatura superficial dessa região por meio do gradiente de temperatura verificado no mapeamento ao longo de 31 anos.

Constatou-se que a área de solo exposto da Região Metropolitana de Belém em 1984 era de 8% aumentando em três décadas para 31%, mais que o triplo, e que os fatores responsáveis por esta transformação da paisagem foram o crescimento urbano desordenado que substituiu as áreas vegetadas em regiões pavimentadas, novas vias como o BRT e o prolongamento da Avenida Independência, novos empreendimentos como o shopping Grão Pará, o aumento das áreas urbanas das sedes municipais como é o caso do município de Marituba, Castanhal e Ananindeua.

Também se fazem necessárias políticas públicas, voltadas para a sociedade local, onde se sugere a implementação de projetos florísticos voltados para a criação de corredores

ecológicos e o provimento da arborização da cidade das mangueiras que atualmente necessita de providencias no âmbito do reflorestamento urbano, além da gestão ambiental direcionada ao controle da formação de ilhas de calor, bem como o aumento da temperatura, assim como a manutenção das unidades de conservação que apresentam ainda a vegetação nativa além da preservação de áreas vegetadas, pois se constatou que são de fundamenta importância para o clima local.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B. et al. O sensoriamento remoto aplicado ao estudo da desertificação na região Semiárida do Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 2, n. 2, p.64-80, 2014.
- ASSIS, J. M. O. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco-PE nos anos de 1985 e 2010 (Mapping of use and occupancy of soil in town of Belém de São Francisco-PE in years of 1985 and 2010). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 859-870, 2015.
- ALVES, Ana Christina Neves; ANDRADE, Telma Côrtes Quadros; NERY, Jussana Maria Fahel Guimarães. A influência da vegetação e da ocupação do solo no clima urbano: um exercício analítico sobre a avenida paralela. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 167-180, 2013.
- ARNFIELD, A. J., Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island” **International Journal Climatology**, v. 23, pp.1–26, 2003.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L. e; SANTOS, A. A. **BIOESTAT**-aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Biomédicas. Mamirauá. Belém, PA, 2015. 364 p.
- BAHIA, E. V.; FENZL, N.; LEAL, R. B. L.; MORALES, G. P.; LUIZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga – Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v.25, n.1, p.43-56, 2011.
- BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e Morfologia urbana na cidade do Recife. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 65-76, 2016.
- BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo** [Online], v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.
- BIAS, E. De S.; BAPTISTA, GM De M.; LOMBARDO, Magda Adelaide. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 11, p. 1741-1748, 2003.
- BORDALO, C. A. L. **O desafio das águas numa metrópole amazônica**: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém-PA (1984-2004). Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2006.

BRANDÃO, A. M. P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro, In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 2011. p. 121-154.

BUSSAB, W. ; MORETTIN, P. **Estatística básica**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. uso do solo e temperatura superficial em área urbana, **Mercator Fortaleza**, v. 10, n. 23, p. 207-223, 2011.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. London, Hutchinson: Co. Publishers LTD, 1965.

COELHO, A.L.N.; CORREA, W.S.C. Avaliação da temperatura superficial através d uso do Landsat 8, **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.7, n.1, p. 31 – 45, 2013.

CORRÊA, L.V. **Análise dos efeitos térmicos de superfície na cidade de Belém-Pará-Brasil utilizando imagens de satélites**. 2011. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2011.

CORRÊA, Polari Batista. **Ilhas de calor na cidade de Manaus: aspectos observacionais e de modelagem**. 2013. 67f. Dissertação (Clima e Ambiente (CLIAMB)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2013.

COSTA, Douglas F. da; SILVA, Helio Ricardo; PERES, Leonardo de F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, p. 974-985, 2010.

COSTA, S.C.V., CORRÊA, N.B.S. **Qualidade ambiental em áreas de expansão urbana: em estudo de caso sobre a perda da cobertura vegetal do bairro Parque Verde – Belém/PA**. Belém: IFPA, 2009.

ELMORE, A. J. et al. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**, v. 73, n.1, p.87-102, 2000.

FIGUEIREDO, Dalson Brito; SILVA, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 42-50, 2010.

FITZ, Paulo R. Geografia tecnológica. In: _____. **Geoprocessamento sem complicação**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2008.

GANEM, Khalil Ali; OLIVEIRA, Marcell Terra de. **Análise sazonal da relação entre sequestro florestal de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília, DF**. 2014. 76. f. Monografia (Bacharel em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, 2014.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOMES, P. L. S. **Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação do solo no entorno da Av. Independência entre o projeto Ação Metrópole**. 2012. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Belém, 2012.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban forestry**. New York: John Wiley, 1978. 279p.

HONORATO, Ana Flávia Avenir; ANDRADE, Vicentina Socorro da Anunciação. Ilhas de calor e frescor na área urbana da cidade de Aquidauana-MS. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 878–886, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS GEOGRÁFICAS (IBGE). **Censo 2010; 2013; 2014**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 22 de março de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS GEOGRÁFICAS (IBGE). **Estimativas populacionais 2010**, censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 25 de março de 2015 em

JENSEN, John R.; EIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

KANDA, M. Progress in the scale modeling of urban climate: review. **Theoretical Applied Climatology**, v. 84, p. 23–33, 2006.

KRÜGER, Eduardo L. Efeitos da ilha de calor de Curitiba em níveis de conforto no ambiente externo e interno. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p.107-121, 2016.

LANDSBERG, H. E. The climate of towns. In: THOMAS, W. E.(ed.). **Man`s role in changing the face of the earth**. Chicago: Pub. for the Wenner Grem Foud. for Antropological Research and the National and Cience Found. University of Chicago Press, 1956.

LEAO, N. et al. **Belém sustentável**. Belém: IMAZON, 2008.

LIMA, Nathan Rodrigues; PINHEIRO, Gabriela Marques; MENDONÇA, Francisco. Clima urbano no Brasil: Análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 626-638, 2016.

LIMA, Valéria; AMORIM, Margarete C. C. T. A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR; MCT/INPE, 2011. p. 1028-1035,

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo: Ed. Hucitec, 1985.

LUCENA, Andrews José. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. **Revista Continentes**, v. 1, n. 2, p. 28-59, 2013.

MANLEY, G., On the frequency of snowfall in metropolitan England. **Quart. Journal Royal Meteorological Society**, v. 84, pp.70–72, 1958.

MARTINS, José Lucas Ferreira; SILVA, Mauro Henrique Soares. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para avaliação ambiental da bacia hidrográfica do alto guariroba, Campo Grande-MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 256-270, 2014.

MASCARÓ, J.; MASCARÓ, L. ; AGUIAR, C. Cidade: energia, arborização urbana e impacto ambiental. **Ciência & Ambiente, Santa Maria, UFSM**, v.1, n.1, p. 59-72, jul. 1990.

MEIRELES, Victor Hugo Pezzini de; FRANÇA, José Ricardo de Almeida; PERES, Leonardo F. Um estudo do fenômeno da ilha de calor Urbana na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 180-194, 2014.

MENDONÇA, F. Clima e Planejamento urbano em Londrina–proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo térmico. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. AF (org) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p 64-80.

MENDONÇA, F. **O Estudo do S.C.U. - sistema clima urbano - no Brasil: aplicações e avanços**. [S.l.:s.n], 2012 (Inédito).

MENEZES, L. B. C.; CARVALHO, E. A. de; NUÑEZ, Y. T.; BRITO, L. B.; SEMBER, N. B. G.; VASCONCELOS, E. F. Parques urbanos de Belém (PA): situações atuais e problemáticas socioambientais. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 1, n.1, p.150-161, 2013.

MONTEIRO, A.D.L. **A influência do crescimento urbano na variação de temperatura no bairro de Val-de-Cans em Belém – PA**. 2015. 80f. Dissertação (Mestrado, (mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, 2015.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1991. 181p.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. 192 p.

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4ed. Viçosa, Minas Gerais: ed. UFV, 2011. 143 p.

NAKATA, Camila Mayumi; SOUZA, Léa Cristina Lucas; RODRIGUES, Daniel Souto. Geometria urbana e ilha de calor noturna: análise baseada em um modelo numérico. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEMANETO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL- PLURIS, 6., 2014, São Carlos, São Paulo. p. 1-11.

NETO, Alberto Bentes Brasil et al. Dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo no entorno do parque estadual do Utinga (PEUt), Belém-PA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19, p.87-100, 2014.

NÓBREGA, Ranyére Silva; SANTOS, Pedro Felipe Cavalcanti; MOREIRA, Elvis Bergue Mariz. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/PE: distribuição espacial e intensidade. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 4, p. 145-155, 2016.

OLIVEIRA et al. Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo. Universidade Federal de Viçosa. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18, p. 900-926, 2015.

PARÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Revisão do plano de manejo do Parque Estadual do Utinga**. Belém: Secretaria de Estado de Meio Ambiente- SEMA; IMAZON, 2013.

PINHEIRO, G.M. **As Chuvas extremas e suas repercussões no espaço urbano de Bauru/SP: 1978 a 2008**. Curitiba: UFPR, 2012.

PONTE, Juliano Pamplona Ximenes. Belém-PA: cidade, água e convergência no ordenamento territorial. In: ENCONTROS NACIONAIS DA ANPUR, 13., **Anais...** [S.l.], 2009.

POLIDORIO, A. M.; et al. Segmentação de corpos d'água em imagens multiespectrais e temporais usando watershed com marcadores automaticamente definidos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** Goiânia, Brasil: INPE, 2005. p. 4249-4257.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C.; LEUNG, L. C. "A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island". **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 120–128, 2008.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. In: FÓRUM PATRIMÔNIO: AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL, 2013, São Paulo. **Anais...** USP, 2013. v. 4, n. 1, p.35-50.

SANTOS, T. O. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011..

SCIENCE FOR A CHANGING WORLD (USGS). **Imagens de satélites Landsat UTM** Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

SEABRA, Vinicius da Silva; CRUZ, Carla Madureira. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ/Mapping the dynamics of land cover and land use in the watershed of São João river, RJ. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 27-45, 2013.

SENA, Caio Atila Pereira; FRANÇA, José Ricardo de Almeida; PERES, Leonardo Faria. Estudo da Ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro usando dados do MODIS. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 111-122, 2014.

SEO, Emília Satoshi Miyamaru; LICCO, Eduardo Antonio; RIBEIRO, Luciana Mara. Reflexões sobre as mudanças climáticas na cidade de São Paulo. **InterfacEHS-Revista de Saúde Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 25, n.3, p.95-105, 2014.

SILVA, Antônio Machado e. Curso processamento digital de imagens de satélite. In: CENTRO DE EVENTOS DA PUCRS, 2001, Porto Alegre - RS. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

SOUSA, Eliana Rodrigues et al. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra em áreas propostas para a implantação de unidades de conservação no município de Bacabeira-MA. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 12, p. 34 – 49, 2016.

SOUZA, S. B. DE; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Revista Espaço Geográfico em Análise.**, v. 26, p.75 – 99, 2012.

STEWART, I.D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature”, **International Journal Climatology**, v. 31, p. 200–217, 2011.

TAHA, H. “Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat”, **Energy and Buildings**, v. 25, p. 99-103, 1997.

U.S.GEOLOGICAL SURVEY. **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges**. Disponível em: <http://www Landsat7.usgs.gov/technical_details/calibration_files/15_cal_notices>. Acesso em: 20 outubro de 2015.

USGS - Geological Survey. **Serviço de levantamento geológico Americano**. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8, 2015.

WENG, Q. **Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications**. New York: McGraw-Hill, 2010.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, Oxford, v.89, p.467-483, 2004.